LIBRARY OF PRINCETON
MAY 10 1915
THEOLOGICAL SEMINARY

Division CB5
Section .K96
3:7
v. 1

DIE

KULTUR DER GEGENWART

IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE

HERAUSGEGEBEN VON PAUL HINNEBERG

DRITTER TEIL

MATHEMATIK · NATURWISSENSCHAFTEN MEDIZIN

SIEBENTE ABTEILUNG

NATURPHILOSOPHIE UND PSYCHOLOGIE

UNTER LEITUNG VON C. STUMPF

ERSTER BAND

NATURPHILOSOPHIE

UNTER REDAKTION VON C. STUMPF

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN 1914

LIBRARY OF PRINCETON
JAN 18 1915
THEOLOGICAL SEMINARY

NATURPHILOSOPHIE

UNTER REDAKTION VON C. STUMPF
BEARBEITET

VON

ERICH BECHER

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN 1914

COPYRIGHT 1914 BY B. G. TEUBNER IN LEIPZIG

ALLE RECHTE, EINSCHLIESSLICH DES ÜBERSETZUNGSRECHTS, VORBEHALTEN

VORWORT.

Die Darstellung der „Kultur der Gegenwart" soll für jeden Gebildeten verständlich sein. Darum mußten die abstrakteren, insbesondere die erkenntnistheoretischen Probleme verhältnismäßig breit behandelt werden. Das Gesamtbild der Natur, welches den abschließenden Hauptteil dieser Naturphilosophie bildet, durfte hingegen relativ kurz gefaßt werden, weil es sich da vielfach um Gegenstände handelt, die der Anschauung näherstehen. Auch war Rücksicht auf die naturwissenschaftlichen Bände der „Kultur der Gegenwart" erforderlich, die in ihrer Gesamtheit ein reicheres Naturbild entwerfen. Ihre Darlegungen sind vielfach von philosophischem Geiste durchweht, so daß sie sich als Ergänzung unseres Naturbildes vortrefflich eignen. Die Rücksicht auf die naturwissenschaftlichen Bände hat die Stoffauswahl bei unserer Darstellung der Gesamtnatur sehr wesentlich mitbestimmt. Insbesondere mußten dem astronomischen und dem physikalischen Teil der „Kultur der Gegenwart" Gebiete überlassen bleiben, die an sich in der „Naturphilosophie" wohl Behandlung verdient hätten.

Ich bin vielfach auf von den meinigen abweichende Ansichten eingegangen; dabei habe ich öfters auf die Nennung ihrer Vertreter verzichten zu sollen geglaubt, weil sich sonst (vor allem in der Naturerkenntnistheorie) leicht Ungenauigkeiten ergeben hätten, da ich meist nur die wesentlichen Züge einer Schulmeinung, nicht aber die individuellen Variationen berücksichtigen konnte.

Einzelne wertvolle Erscheinungen der allerjüngsten erkenntnistheoretischen Literatur konnten meine Darstellung nicht mehr beeinflussen, da die erste Hälfte dieses Buches bereits vor einiger Zeit gedruckt wurde.

Münster i. W., den 2. April 1914.

ERICH BECHER.

Digitized by the Internet Archive
in 2023 with funding from
Princeton Theological Seminary Library

https://archive.org/details/naturphilosophie00bech_0

INHALTSVERZEICHNIS.

Einleitung. Aufgabe der Naturphilosophie. Seite

Aus der Geschichte der Naturphilosophie 3
Altertum 3
Patristik und Scholastik 5
Neuzeit 6
Die spekulative deutsche Naturphilosophie 8
Die Naturphilosophie der letzten Jahrzehnte 10
Vorläufige Bestimmung des Begriffes Natur 12
Vieldeutigkeit des Wortes Natur 12
Bestimmung der Wortbedeutung 13
Einwände von seiten einer Kritik des Körperbegriffes 14
Einwände auf Grund neuerer Einteilungen der Wissenschaften 16
Naturwissenschaft und Naturphilosophie 21
Definition der Wissenschaft 21
Wissenschaft von der Natur und Naturwissenschaften 22
Philosophie der Natur. Das Bild der Gesamtnatur 23
Erfahrungserkenntnis und Hypothese in der Naturphilosophie 26
Erweiterung der Aufgabe der Naturphilosophie 26
Naturphilosophie und Erkenntnistheorie 30
Philosophie der Natur und Philosophie der Naturwissenschaft 32
Ergebnis: Aufgabe der Naturphilosophie 33

Naturerkenntnistheorie.

Aufgabe der Erkenntnistheorie, insbesondere der Naturerkenntnistheorie 37
Aus der Geschichte der Erkenntnistheorie 37
Differenzen bezüglich der Aufgabe der Erkenntnistheorie 38
Erkenntnistheorie und Psychologie 38
Erkenntnistheorie und übrige Wissenschaften 41
Erkenntnistheorie und Logik 43
Weitere Aufgaben der Erkenntnistheorie 47
Angebliche Ungereimtheit der Aufgabe der Erkenntnistheorie 49
Die Bezeichnung „Erkenntnistheorie“ 51
Erkenntnistheorie und Naturerkenntnistheorie 51
Methode der Erkenntnistheorie 52
Die Feststellung der Voraussetzungen 52
Die Untersuchung der Voraussetzungen 56
Vorläufige Festlegung und Kritik vorwissenschaftlicher und wissenschaftlicher Realitätsvoraussetzungen 61
Zum Begriff der Wirklichkeit 61
Die Wirklichkeit nach vorwissenschaftlicher Auffassung 63
Die Wirklichkeit nach naturwissenschaftlicher Auffassung 64

Seite

Kritik der realistischen Voraussetzungen bezüglich der Körperwelt. Erscheinung und Ding-an-sich im vorwissenschaftlichen Denken 65
Bedeutung der Unterscheidung von Erscheinung und Ding-an-sich für das Erkennen. 66
Die Erscheinung als Wirkung des Dinges-an-sich 66
Auffassung der Dinge-an-sich in der Physik. Primäre und sekundäre Qualitäten 67
Der Phänomenalismus 69
Der Konszientialismus (subjektiver, erkenntnistheoretischer Idealismus, Immanenzphilosophie) 70
Der vermeintliche Widerspruch in der Annahme von Dingen-an-sich . . . 72
Der Solipsismus 73
Das Gegenwärtig-Bewußte 74
Das Gegenwärtig-Bewußte und das Unzweifelhaft-Bewußte 74

Feststellung der immanenten Grundlagen und Rechtfertigung transzendenter Voraussetzungen. Die Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens 76
Die Grundlage: Wirklichkeit des Sicher-Gegebenen und logische Grundsätze . . 76
Fortsetzung: Voraussetzung der Verschiedenheits-, Ähnlichkeits- und Gleichheitserkenntnis im Sicher-Gegebenen 77
Erkenntnisnotwendigkeit transzendenter Voraussetzungen 79
Erste transzendente Voraussetzung: das Vertrauen auf die Erinnerung . . . 80
Psychogenese der Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens 81
Das durch die Voraussetzung eröffnete Erkenntnisgebiet 82

Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung 84
Das Erkennen der Zukunft des eigenen Bewußtseins und die Regelmäßigkeitsvoraussetzung 84
Das Erkennen des für das individuelle Bewußtsein Transzendenten und die Regelmäßigkeitsvoraussetzung 85
Analogieschluß, Induktionsschluß, Kausalprinzip und Regelmäßigkeitsvoraussetzung 87
Unbeweisbarkeit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung 88
Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung ist nicht unmittelbar evident 90
Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung folgt nicht analytisch aus dem Begriff der Wirklichkeit 90
Radikale Konventionslehre 92
Die Regelmäßigkeit im realen Geschehen ein Produkt des Verstandes? Kant-Schopenhauersche Lehren 97

Erkenntnistheoretische Rechtfertigung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung 101
Widerspruchsfreiheit und Bewährung 101
Lebensnotwendigkeit und Erkenntnisnotwendigkeit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Ihre Unentbehrlichkeit für das Erklären 104
Der natürliche Glaube des gesunden Menschenverstandes als letztes Fundament 108
Psychologisches zur Entstehung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung 110

Die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung 114
Regelmäßigkeits- und Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung 114
Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung und (gemäßigte) Konventionslehre 119

Dingbegriff und Substanzbegriff 122
Regeln der Koexistenz, des Beharrens und der Veränderung 122
Der Ding-Begriff 122
Der Substanzbegriff 123

Seite

Der Kausalbegriff und die einschlägigen Voraussetzungen 128
Kausalität und gesetzmäßige unmittelbare Sukzession 128
Das Wirken als Tätigkeit der Dinge 130
Wirken gleich Aus-sich-Hervorbringen 132
Kausalität und Identität. 134
Das Ursache-Wirkungs-Verhältnis und der logische Grund-Folge-Zusammenhang 137
Notwendigkeit des Ursache-Wirkungszusammenhanges? 140
Kausalität und streng regelmäßige unmittelbare Sukzession 144
Aufeinanderfolge oder Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung? 146
Zur Rechtfertigung des Kausalprinzips 148
Zur Psychogenese der Kausalauffassungen 151
Modifikation des Kausalprinzips zum Zwecke der Anwendung. Unvollständige und angenäherte Wiederholung der Ursachen 153
Das Zusammenwirken von Teilfaktoren. Superposition der Wirkungen . . . 155
Die Wirkung als Funktion der Ursache. Stetigkeitsvoraussetzung 156
Ersatz des Kausalbegriffs durch den Funktionsbegriff? 158

Die Voraussetzung einer realen Außenwelt 162
Aufgabe und Begriffsbestimmung 162
Die Voraussetzungen der Regelmäßigkeit, Gesetzmäßigkeit, Kausalität, Stetigkeit und des Einzelbewußtseins-Transzendenten 162
Selbständige Rechtfertigung des Einzelbewußtseins-Transzendenten 164
Abwehr von Einwendungen gegen die Annahme des Bewußtseins-Transzendenten 166
Fortsetzung. Idealistische Deutung der Naturerkenntnis 167
Fortsetzung. Die Außenwelt als Fiktion 171

Möglichkeit, Charakter und Grenzen der Außenweltserkenntnis . 173
Die Erkennbarkeit der Außenwelt 173
Erkenntnistheoretische Rechtfertigung und Kritik der vorwissenschaftlichen und einzelwissenschaftlichen Außenweltserkenntnis 174
Fortsetzung. Ablehnung der sekundären Qualitäten. Übergang vom naiven zum physikalischen Realismus 176
Fortsetzung. Beibehaltung primärer Qualitäten. Die räumlichen Eigenschaften. Der physikalische und der kritische Realismus 177
Der kritische Realismus und die Metageometrie 180
Relativität der Außenweltserkenntnis. Zeichen-, Bilder- und Fiktionshypothese 183
Ausblick auf die kinetischen Hypothesen der Naturwissenschaft und die kinetische (mechanische) Naturauffassung 185
Der Sinn der kinetischen Hypothesen 186
Das Erkennen unwahrnehmbarer Außenweltsrealitäten. Vermehrung und Erweiterung unserer Sinne 188
Grenzen der Außenweltserkenntnis 189

Die Voraussetzung einer Körperwelt. Körper und Kräfte. Unkörperliche bewußtseins-transzendente Realitäten. Der Naturbegriff. Schluß. 192
Verschiedene Gesamtauffassungen des Bewußtseins-Transzendenten 192
Die Außenwelt als Körperwelt 193
Die Körper als Substanzen 193
Eigenschaften und Kräfte. Dynamismus 194
Unkörperliche bewußtseins-transzendente Realitäten. Ausblick auf den Mechanismus-Vitalismus-Streit in der Biologie 196
Der Begriff der Natur 200
Schluß. Empirische und apriorische Grundlagen der Naturerkenntnis . . . 201

Gesamtbild der Natur.

Seite

Struktur und Bausteine der gewöhnlichen Körper 205
Einleitung 205
Makrostruktur und Mikrostruktur der Körperwelt 206
Unhaltbarkeit prinzipieller Einwände gegen die Mikrostrukturhypothesen . . 209
Allgemeine Begründung der physikalischen Molekulartheorie 213
Molekulartheorie der Aggregatzustände. Kinetische Gastheorie 220
Größenverhältnisse in der Welt der Moleküle 226
Die chemische Molekular- und Atomtheorie 233
Fortsetzung. Gewichtsverhältnisse bei chemischen Verbindungen (Stöchiometrie) 238
Kritisches zur chemischen Molekular- und Atomtheorie 245
Die Elektronentheorie 248
Fortsetzung. Elektronentheorie der Elektrizität mit sich führenden Strahlen 251
Die Struktur der Atome und ihre elektrischen Bausteine 261
Fortsetzung. Elektrische Theorie der Materie 269
Schwierigkeiten der Elektronentheorie und der elektrischen Theorie der Materie 275
Ergebnis. Die naturwissenschaftliche Erkenntnis der Materie und ihrer Bausteine 279

Problematische körperliche Realitäten im „leeren“ Raume 283
Der Äther der elastischen Lichttheorie 284
Die elektromagnetische Lichttheorie und ihre Ätherlehre 293
Die Faraday-Maxwellsche Theorie und die Elektronentheorie. Äther und Elektronen 305
Kritik der Ätherlehre. Die sogenannten Feld-„Zustände“ des Äthers als selbständige stoffartige Realitäten 313
Prüfung der Synthese von Emissions- und Wellentheorie des Lichtes sowie der Stofftheorie des elektrischen und magnetischen Feldes 320

Das Geschehen an den unbelebten Körpern 331
Allgemeinere Motive und Argumente für die kinetische Naturauffassung . . 331
Empirische Begründung der einzelnen kinetischen Hypothesen 339
Elimination von Qualitäten aus dem Naturbild durch kinetische und Struktur-Theorien 348
Spezielle Ausgestaltungen der kinetischen Naturauffassung. Mechanische und kinetisch-elektrische Auffassung 353

Die lebenden Körper und das Lebensgeschehen 361
Die charakteristischen Merkmale der Lebewesen 362
Einteilung der Lebewesen 375
Die Abstammungslehre 378
Die Herkunft der ältesten irdischen Lebewesen 386
Die Triebkräfte der Entwicklung der Arten 391
Zweckmäßigkeitsentwicklung und Beseelung. Psychovitalismus 403
Kritische Betrachtung von Einwänden gegen den Vitalismus. Metaphysischer Abschluß des Naturbildes 414

Literaturverzeichnis 420
Namenregister 424

EINLEITUNG.
AUFGABE DER NATURPHILOSOPHIE.

AUS DER GESCHICHTE DER NATURPHILOSOPHIE.

Um über die Aufgabe der Naturphilosophie Aufschluß zu erhalten, werfen wir zunächst einen Blick auf ihre Geschichte.

Altertum. Geschichtschreiber der Philosophie beginnen nach mancherlei vorbereitenden Betrachtungen über Methoden, Quellen, Einteilung des Stoffes die eigentliche Darstellung wohl mit einem Abschnitt über die „ältere Jonische (Milesische) Naturphilosophie". Die philosophische Entwicklung setzt in Griechenland sofort mit naturphilosophischen Reflexionen ein. Die griechischen Denker haben eine Fülle naturphilosophischer Ideen produziert, die zum großen Teil von phantastischem Charakter und lediglich historischer Bedeutung sind, vielfach aber Züge unseres gegenwärtigen Naturbildes vorweggenommen oder doch vorbereitet haben.

Thales von Milet läßt alle Dinge aus einem Urstoff, aus Wasser, entstehen. Die Vorsokratiker. Wahrscheinlich galt ihm die Materie als beseelt oder belebt (Hylozoismus).

Anaximander philosophiert über Herkunft und Entstehung der Tiere und des Menschen in einer Weise, die an die moderne Abstammungslehre erinnert hat.

Anaximenes ahnte Umwandlungen der Stoffe durch Verdichtung und Verdünnung.

Man hat eine naheliegende Erklärung dafür gegeben, daß die philosophische Denkarbeit sich zunächst der Natur, der körperlichen Außenwelt, zuwandte. Von Naturdingen und -erscheinungen, von Wind und Wetter, von Nutztieren und Nutzpflanzen, von Nahrung und Kleidung usw. hängt das Wohl und Wehe des Menschen ursprünglich ab. Aus den praktischen Interessen aber entspringen die theoretischen, wie die Geschichte der Wissenschaften, z. B. der Mathematik, der Astronomie, der Chemie beweist. Die Beobachtung der Naturdinge und -vorgänge erscheint als etwas Ursprünglicheres, Natürlicheres gegenüber der Beobachtung und Zergliederung des seelischen Inneren. Damit hängt es zusammen, daß für die naive Weltbetrachtung die Naturdinge, die schweren, tastbaren und sichtbaren Körper als das eigentlich und selbstverständlich Wirkliche gelten.

In den phantastischen Zahlenspekulationen der Pythagoreer, die allerdings nur zum Teil zur Naturphilosophie zu rechnen sind, klingt der Gedanke einer mathematisch strengen Naturordnung an. Heraklit ist unserer gegenwärtigen Naturanschauung verwandt durch seine Betonung des Werdens, der unaufhaltsamen Veränderung im Weltgeschehen. Auch bei den Eleaten kann

man Gedanken finden, die im naturwissenschaftlichen Weltbild der Gegenwart fortleben. Sie betonen die Einheit des Alls; sie unterziehen den Begriff der Bewegung einer kritischen Untersuchung. — Allerdings konnten die alten Philosophenlehren die Jahrhunderte nur überdauern, indem sich ihr Inhalt den wechselnden Weltanschauungen und dem wachsenden Erfahrungsbesitze durch eigene Wandlung anpaßte.

Bei Empedokles hat man Ansätze zu der Darwinistischen Lehre gefunden, daß von den durch Zufall sich bildenden Lebensformen nur die lebensfähigeren, „angepaßten", Bestand haben, während die lebensunfähigen untergingen. Wir hätten somit einen Versuch zur Überwindung des „Teleologieproblems" vor uns, einen ersten Schritt zur Erklärung der Zweckmäßigkeitserscheinungen, speziell in der lebenden Natur.

Den Ansatz zu einer anderen, dem Darwinismus gegenüberstehenden Lösung des Teleologieproblems dürfen wir bis auf Anaxagoras zurückverfolgen. Als Prinzip der Weltbildung, die von einem chaotischen Urzustande ausgeht, nimmt er ein geistiges Wesen, den „Nus" (*νοῦς*) an (der jedoch zugleich noch als stofflich erscheint); der Nus bewirkt durch Erzeugung einer Wirbelbewegung Scheidung der Stoffe. Freilich scheint Anaxagoras sein Prinzip nicht zur Durchführung von Zweckerklärungen verwertet zu haben, wie schon Plato und Aristoteles tadelnd hervorhoben.

Eine hervorragende Stellung in der Geschichte der Naturphilosophie gebührt den Atomisten Leukipp (dessen Existenz angezweifelt worden ist) und Demokrit. In ihrem Weltbilde ist alles aus unteilbaren, ewigen, qualitätslosen, nur durch Größe, Form und Lage unterschiedenen Urteilchen, aus den zahllosen „Atomen" aufgebaut; diese bewegen sich im leeren Raume nach notwendigen mechanischen Gesetzen, unter Ausschluß jedes Zufalls.

Plato und Aristoteles.

Bei den Sophisten wendet sich die philosophische Reflexion dem Subjekte, dem Erkennen und Handeln zu; dies verbindet die Sophistik mit ihrem Gegner, mit Sokrates, der die Abwendung von der Naturphilosophie mit großer Entschiedenheit vollzieht. Doch erweitert bereits der vielseitige Genius Platos wiederum den Horizont der sokratischen Interessen. Allerdings ist auch der von Sinnenfeindschaft nicht freie Geist des Platonismus der Naturphilosophie an sich wenig günstig. Immerhin konnte bei einem so universalen Denker die Naturphilosophie nicht fehlen; sie wurde im „Timäus" dargestellt. Von Plato stammt die folgenreiche Einteilung der Philosophie in Dialektik, Physik und Ethik; die Bezeichnungen dürften von dem Platoniker Xenokrates eingeführt sein. Unter Physik ist dabei die gesamte Naturerkenntnis nebst der Psychologie zu verstehen.

Die teleologische, am Zweckbegriff orientierte Naturauffassung findet in Platos großem Schüler ihren hervorragendsten Vertreter. Aristoteles, der Vater der Naturgeschichte, gehört zu den größten Naturphilosophen und Naturforschern aller Zeiten. Er sammelt und verarbeitet ein für seine Tage erstaunliches Material von Einzelerfahrungen. Von seiner „ersten Philosophie", die später die Bezeichnung Metaphysik erhielt, von der „Wissenschaft der

ersten Gründe und Ursachen", werden die obersten Prinzipien zur philosophischen Erfassung der Natur geliefert.

Mit der teleologischen Naturansicht und mit uralten, vorwissenschaftlichen Anschauungen hängt die Bedeutung zusammen, welche Aristoteles dem Seelischen beimißt. Die Seele ist als Lebensprinzip aufzufassen; alles Lebende, es sei Pflanze, Tier oder Mensch, ist als solches beseelt. Man kann diese Lehre mit einem modernen Ausdruck als Psychovitalismus bezeichnen. Sie findet auch gegenwärtig wieder Anklang.

Die nacharistotelische Zeit.

So beachtenswert die naturwissenschaftlichen Leistungen der nacharistotelischen Zeit sein mögen, für die Naturphilosophie war sie wenig fruchtbar. Epikur übernahm die materialistische Atomistik nach einigen erheblichen Modifikationen; doch kann er sich mit seinen Vorgängern nicht an naturphilosophischer Bedeutung messen. In des Lucretius Carus Lehrgedicht „*de rerum natura*" wurde der Epikureismus in wirksame poetische Form gebracht.

In der peripatetischen Schule wandte man sich vielfach naturwissenschaftlicher Einzelforschung zu. Aristoteles' Schüler und Nachfolger im Lehramt, Theophrast, machte sich besonders um die Botanik verdient. Strato „der Physiker", Theophrasts Nachfolger, führte die theistische Metaphysik des Aristoteles in einen pantheistischen Naturalismus über.

Die Bezeichnung „*philosophia naturalis*" stammt von dem Stoiker Seneca. Sie schließt, wie die „*physica*" (φυσική) bis in die beginnende Neuzeit neben der Naturphilosophie im heutigen Sinne die Naturwissenschaft (und die Psychologie) ein, obgleich eine Scheidung der Arbeitsgebiete zum Teil schon weit früher, etwa in Alexandria, ja bereits vorher im Anschluß an Aristoteles sich ergab.

Schon das auf ethische Probleme gerichtete Interesse der großen nacharistotelischen Schulen, des Stoizismus und Epikureismus, war der Naturphilosophie wenig günstig. Das gilt erst recht für die religiös gestimmte Philosophie des untergehenden Heidentums und die aufblühende Spekulation auf der Grundlage des Christentums. Die im Platonismus liegende Geringschätzung der Sinnenwelt wird zur Gleichgültigkeit, oder sie steigert sich bis zum Haß. Die äußere Natur, die Materie, der sterbliche Leib wird zur Fessel der Seele, zur Quelle des Bösen.

Die Kirchenväter.

Patristik und Scholastik. Der Philosophie der Kirchenväter liegen im allgemeinen die Probleme der Naturerkenntnis recht fern. Zwar fehlen auch in der Patristik naturphilosophische Ansätze nicht ganz. Solche Ansätze ergeben sich aus den Lehren der christlichen Religion (Schöpfungslehre usw.). Bei Tertullian finden wir gar einen extremen Materialismus. Er lehrt die Körperlichkeit Gottes und der Seele; die Kindesseele gilt ihm als Sproß oder Schößling der elterlichen.

Im wesentlichen beschäftigt sich die Patristik mit Theologie und Religionsphilosophie. Augustin, der größte der Kirchenväter, wendet sich ausdrücklich von der äußeren Natur ab. Gott und die Seele will er erkennen und weiter nichts, wie er selbst bezeugt. —

Die Scholastik. Die Scholastik mit ihren universalen und systematischen Tendenzen konnte Naturphilosophie (und Naturerkenntnis überhaupt) nicht gänzlich vernachlässigen. Johannes Eriugena, den man den Vater der Scholastik genannt hat, gibt seinem Hauptwerk den Titel: *De divisione naturae.* Seine Philosophie stellt indessen eine mystisch-theosophische Metaphysik dar. Jüngere Frühscholastiker entwickeln eine platonisierende Naturphilosophie; auch atomistisch-materialistische Ideen finden Vertreter.

In der klassischen Periode der Scholastik überragt Albertus Magnus, „*doctor universalis*", seine Zeitgenossen an naturwissenschaftlichen (vor allem botanischen) Kenntnissen. Seine Philosophie ruht in erster Linie auf aristotelischen Gedanken, die er jedoch in naturphilosophisch bedeutsamen Punkten verwirft, wenn sie der Kirchenlehre widerstreiten: so lehnt er Aristoteles' Lehre von der Ewigkeit der Welt ab.

Roger Baco, der sich mit Astronomie, Physik und Chemie beschäftigt und wichtige naturwissenschaftliche Entdeckungen macht, tritt bei aller Verehrung für Aristoteles doch mutig seiner absoluten Autorität entgegen. Als Grundlage der Wissenschaften gilt ihm die Mathematik, als Krönung die *scientia experimentalis.* Er fordert systematisch-methodische, experimentelle Beobachtung. Wenn er mit Nachdruck die Erfahrung als unentbehrliche Quelle des Wissens bezeichnet, so versteht er darunter freilich nicht allein naturwissenschaftliche Beobachtung, sondern auch innere ekstatische Erfassung des Übersinnlichen. Auf die Förderung der Naturerkenntnis durch die Araber, die für die Geschichte der Naturwissenschaft im Mittelalter überaus bedeutsam ist, kann hier nur hingewiesen werden. Die philosophische Spekulation der Araber steht in erster Linie unter aristotelischem Einfluß.

Die Renaissance. Neuzeit. Mit der Renaissance und ihrer neuen Wertung der Sinnenwelt, der Natur, setzt eine neue, starke naturphilosophische Strömung ein. Sie offenbart zunächst viel Begeisterung, tiefes Naturgefühl, reiche Phantasie; aber es fehlt streng logische Zucht, und so entsprechen die geschaffenen Dauerwerte nicht den stolzen Aspirationen. Paracelsus und Cardanus sind typische Vertreter solcher Geistesrichtung.

Auf diesen empfänglichen Boden fallen die ersten großen naturwissenschaftlichen Errungenschaften der Neuzeit. Das kopernikanische System mit seiner tiefgreifenden Umgestaltung des Weltbildes gibt der naturphilosophischen Spekulation sofort einen starken Antrieb. Giordano Bruno sieht neben unserem Sonnensystem unzählige Welten im unendlichen Raume. Das räumlich unendliche Universum ist unvergänglich in der unendlichen Zeit.

Auch bei Bruno überwiegt die Fülle des Gefühls und der Phantasie die logische Energie und Klarheit. Je mehr aber die aufblühende Naturwissenschaft mit ihren strengen mathematischen Methoden sich durchsetzt, um so mehr tritt das phantastisch-mystische Element in der Naturphilosophie zurück. Die gesunde Entwicklung wird vor allem durch jene glückliche Personalunion gesichert, die zwischen Philosophie und exakter Naturforschung

so häufig sich findet. Galilei, Descartes, Leibniz und Newton gehören der Geschichte der Philosophie und der Naturforschung an.

Die mechanische Naturauffassung.

Das Bild der Natur, welches so über phantasievollere Auffassungen der Renaissance-Naturphilosophie den Sieg erringt, ist das einer unendlichen mechanischen Maschine. Diese „mechanische Naturauffassung" entfernt sich zwar weit von der traditionellen kirchlich-scholastischen Naturanschauung, ist aber zunächst keineswegs antireligiös; sie verbindet sich vielmehr mit theistischen oder pantheistischen Auffassungen. Dabei wird vornehmlich durch das Teleologieproblem, durch die Betrachtung der Zweckmäßigkeit der Weltmaschine oder ihrer Teile, eine feste logische Verknüpfung zwischen der mechanischen Naturauffassung und dem Theismus (bzw. Deismus) geschaffen. Die unendlich kunstvolle und exakte Weltmaschine weist auf einen unendlich weisen Weltbaumeister hin.

Dynamismus.

Die mechanische Naturanschauung läßt weit auseinandergehende Auffassungen bezüglich des Wesens der Materie zu. Descartes kannte nur eine Grundeigenschaft der körperlichen Substanz: die Ausdehnung. Ihm gegenüber schrieb Leibniz den letzten substanziellen Bestandteilen, welche den körperlichen Erscheinungen zugrunde liegen, aktive Kräfte zu; die Leibnizschen Weltbausteine, die „Monaden", sind Kraft-Substanzen. Newtons Lehre von der Gravitation, der allgemeinen Massenanziehung, mußte die Ansicht bestärken, daß alle Körper Kräfte ausüben, daß Kräfte zum Wesen des Körpers gehören, ja daß die Körper im Grunde aus Kräften bestehen. Die letztere Auffassung bezeichnet man als Dynamismus. Kant, der zugleich unter dem Einfluß der Leibnizschen Philosophie und der Newtonschen Naturwissenschaft steht, gibt der dynamischen Theorie eine besondere Ausgestaltung, indem er die Erscheinung der Materie durch das Zusammenspiel abstoßender und anziehender Kräfte erklärt.

Die dynamische Theorie hat seither in der Naturphilosophie eine bedeutende Rolle gespielt.

Methodenlehre und Erkenntnistheorie der Naturforschung.

Der Gegensatz der neuen Naturerkenntnis gegen die aristotelisch-scholastische Tradition ist nicht nur ein solcher der Ergebnisse und Hypothesen; die neuen Erfolge gründen in neuen Methoden. Gerade auf neue Methoden, auf neue Erkenntniswege ging das Suchen der Zeit; um sie bemühten sich philosophierende Naturforscher und Philosophen. So wurde das Interesse naturgemäß hingelenkt auf die Methodenlehre, die Logik und die damit zusammenhängende Erkenntnistheorie der Naturforschung. Die „Wissenschaftslehre" der Naturforschung, wie wir kurz sagen dürfen, wird so als wichtiges Grenzgebiet der Naturphilosophie gepflegt.

Abtrennung der Psychologie von der Naturphilosophie.

Der Bereicherung nach der Seite der Erkenntnistheorie hin, die sich übrigens weiter zurückverfolgen ließe, steht zweifache Einengung gegenüber. Einmal schied die Psychologie aus der Naturphilosophie aus. Descartes hatte mit großer Schärfe Körper und Seele geschieden. Der Aufschwung der Naturwissenschaft seit der Renaissance betraf vor allem die Physik, insbesondere die Mechanik, auch die Astronomie. Die Natur, an deren Erklärung die For-

schung der Zeit arbeitete, erschien als mechanisches Getriebe; das Seelenleben mußte ihr gegenüber als eine andere Welt erscheinen. So wird die Psychologie aus der Naturphilosophie als besondere Wissenschaft herausgehoben. Diese berechtigte, ja notwendige Trennung brachte allerdings die Gefahr mit sich, daß fortan bei der Zeichnung eines Weltbildes von naturwissenschaftlicher Seite das Seelische vernachlässigt, übersehen, ja schlechtweg geleugnet werden konnte.

Trennung von Naturphilosophie und Naturwissenschaft.

War so durch Aussonderung des Seelischen der Umfang des Begriffs Natur eingeengt worden, so trennte sich bei der Erforschung der Natur in diesem engeren Sinne von der Naturphilosophie die Naturwissenschaft ab. Diese Trennung war bereits im Altertum vorbereitet und bis zu einem gewissen Grade durchgeführt, insofern als die Arbeitsteilung zwischen naturwissenschaftlicher Einzelforschung und philosophischer Gesamtauffassung der Natur schon damals sich ergab. Die prinzipielle Scheidung aber setzte sich erst spät, etwa im Aufklärungszeitalter durch. Dazu trug natürlich die wachsende Fülle der naturwissenschaftlichen Einzelkenntnisse nicht wenig bei. Ferner gehörte die Wissenschaftslehre der Naturforschung, die von der Grundlage und dem Weg der Erkenntnis, der Forschung und der Beweise handelte, offenbar nicht zur Naturwissenschaft selbst, die die Körperwelt untersuchte. Vor allem spielte wohl auch das rationalistische Ideal der Philosophie eine Rolle. Echte Philosophie sollte nach diesem Ideal ihre Einsichten niemals der Erfahrung verdanken, sondern unabhängig von dieser, „*a priori*“, rein aus dem Verstande oder der Vernunft heraus die Wahrheit gewinnen. So sollte auch die Naturphilosophie, die „spekulative Physik“, die „Metaphysik der Natur“ die Grundbegriffe und Grundsätze, die obersten und tiefsten Einsichten bezüglich der Natur unabhängig von aller Erfahrung, *a priori*, aus der Vernunft heraus, rein spekulativ entwickeln. Der „spekulativen Physik“ wurde die „empirische“, die einzelwissenschaftliche Naturforschung zur Seite bzw. untergeordnet, die auf dem Wege der Erfahrung Einzelkenntnisse sammelt.

Kant.

Die spekulative deutsche Naturphilosophie. Bei Kant ist die Trennung der „reinen“ und der „empirischen“ Naturerkenntnis mit großer Schärfe hervorgekehrt. In der nachkantischen deutschen sogenannten idealistischen Spekulation erwachsen aus der Scheidung der spekulativen Naturphilosophie und der empirischen Naturforschung, bzw. aus dem Überwuchern der ersteren zum Teil recht unerfreuliche Folgen. Kant hatte die reine Naturerkenntnis auf wenige allgemeine Begriffe und Sätze beschränkt. Seine Nachfolger waren kühner. Sie dehnten den Bereich der erfahrungsfreien Spekulation weit aus und ließen diese tief in die Gebiete der einzelnen Naturwissenschaften eindringen. Der Zweckbegriff und die seelisch-geistige oder auch logische Ausdeutung des Naturgeschehens beherrschen die phantastische, oft mystische Konstruktion der Naturanschauung. Schelling ist der typische Vertreter dieser Richtung. Kraft der Phantasie, Tiefe des Naturgefühls, Reichtum an künstlerischen Intuitionen charakterisieren diesen Geist ebenso wie ein Mangel an logischer Selbstzucht, der den wissenschaftlichen Wert seiner

Die nachkantische spekulative Naturphilosophie.

stolzen Gedankenschöpfungen untergräbt. So konnte der große Erfolg dieses Mannes nur ein vorübergehender sein. Die Kollision mit der empirischen Naturwissenschaft ergab sich sofort. Mit einem Hochmut, dem jeder Maßstab zur Abschätzung eigener und fremder Leistungen verloren gegangen war, sah man über die Gegnerschaft der empirischen Forschung hinweg. Schelling läßt mit der neuen Naturphilosophie eine höhere Erkenntnis der Natur durch ein neues Organ der Anschauung und des Begreifens derselben beginnen, nach der blinden und ideenlosen Art der Naturforschung, die seit dem Verderb der Philosophie durch Baco, der Physik durch Boyle und Newton allgemein sich festgesetzt habe. Die Früchte dieses neuen Begreifens waren nur zu oft leere Allgemeinheiten, offensichtlich auf uneingestandener Erfahrung beruhende vage Analogien und der einzelwissenschaftlichen Naturforschung entlehnte Anschauungen, vermengt mit gröbsten Fehlern; immerhin wurde das Ganze zusammengehalten von einzelnen wirklich bedeutsamen, wenn auch oft nicht neuen metaphysischen Gedanken. — Bildungstrieb und chemischer Prozeß, Irritabilität und Elektrizität, Sensibilität und Magnetismus werden leichthin zusammengestellt. Die Materie bzw. die Schwerkraft, das Licht und der Organismus werden als erste, zweite und dritte Potenz in eine Reihe gestellt usw. Hegel bewies *a priori*, daß es nur sieben Planeten geben könne, um alsbald durch Entdeckung der Ceres widerlegt zu werden. Ja selbst die Lehre, daß die Fixsterne einen Hitzeausschlag des Himmelsgewölbes darstellen, tauchte wieder auf.

Verteidiger jener spekulativen Naturphilosophie haben darauf hingewiesen, daß sie viele spätere Errungenschaften der Naturforschung, etwa auf dem Gebiete der Biologie, längst vorweggenommen habe; es sind selbst Prioritätsstreitigkeiten zugunsten der Naturphilosophen begonnen worden. Schon die antike Naturphilosophie hat große naturwissenschaftliche Hypothesen der Gegenwart vorgebildet; es ist unzweifelhaft ein Verdienst und Ruhmestitel der Philosophie der Natur, derart den Einzelwissenschaften vorgearbeitet zu haben. Wenn aber ohne logisch irgendwie ernsthafte Begründung naturphilosophische Vorstellungen in Massen produziert werden, so kann deren Urheber kein großes Verdienst beanspruchen, falls sich zufällig das eine oder andere aus seinen Phantasieschöpfungen in den Hypothesen wiederfindet, die die wissenschaftliche Naturforschung nach streng logischen Richtlinien erarbeitet.

Die Stimmung der Romantik hatte die naturphilosophische Spekulation trotz aller offenbaren Mängel zu gewaltigem Einflusse kommen lassen, weil ihr ästhetischer und religiöser Gefühlswert dem Bedürfnisse der Zeit entsprach. Die Naturwissenschaft hat in Deutschland schwer darunter gelitten. Ein weiterer ernster Schaden aber zeigte sich, als der Zusammenbruch der idealistischen Spekulation erfolgt war. Sie hat der Verachtung der Philosophie, insbesondere der Naturphilosophie, und dem Materialismus die Wege geebnet.

Der Zusammenbruch der spekulativen Naturphilosophie.

Lange konnten die kühnen, stolzen Gedankenbauten der spekulativen Naturphilosophie nicht bestehen. Sie brachen zusammen vor der exakt naturwissenschaftlichen Forschung, die auch in Deutschland mit glänzenden Er-

folgen sich durchsetzte, nachdem sie in Frankreich zur Zeit der idealistischen Spekulation zu hoher Blüte gelangt war. Die spekulative Naturphilosophie verfiel übrigens nicht nur, weil die Naturwissenschaft sich als überlegener Gegner erwies; sie brach vielmehr aus Mangel an innerem logischem Halt, an streng wissenschaftlicher Fundierung in sich zusammen, nachdem die Geistesrichtung der Romantik sie nicht mehr stützen konnte.

Naturphilosophie wurde nun ein verpöntes Wort. Die scharfe Ablehnung von seiten der Naturforscher, die gegenüber den Auswüchsen der spekulativen Richtung gewiß berechtigt, ja verdienstlich war, traf alle naturphilosophischen Bestrebungen. Sie wollte es wenigstens, begünstigte in Wirklichkeit aber die materialistische Philosophie, die nunmehr in Deutschland zu weitester Verbreitung gelangte.

Der Materialismus.

Die Naturphilosophie der letzten Jahrzehnte. Auch in der Zeit der entschiedenen Verachtung aller Philosophie hat die naturphilosophische Arbeit nie ganz geruht. Die großen naturwissenschaftlichen Errungenschaften des vorigen Jahrhunderts brachten ihr neue, kräftige Antriebe. Der Aufbau organischer Verbindungen aus unorganischen Stoffen durch die Chemiker (zunächst Wöhlers Synthese des Harnstoffes) riß eine Schranke zwischen der lebendigen und toten Natur ein und gab einen Anstoß zum Kampfe zwischen Vitalismus (vgl. S. 14, 197) und Mechanismus in der Biologie. Das Gesetz von der Erhaltung der Energie verband und vereinheitlichte die verschiedenen Teilgebiete der Physik, und fernerhin auch anderer Naturwissenschaften. Der Entropiesatz legte Schlüsse auf das zukünftige Geschick unserer Welt nahe. Dann kam, von Darwin siegreich durchgeführt, der Entwicklungsgedanke, in Verbindung mit der Zuchtwahllehre — von D. Fr. Strauß als erstes Kind der heimlichen Ehe zwischen Philosophie und Naturwissenschaft begrüßt.

Die naturwissenschaftlichen Errungenschaften des XIX. Jahrhunderts.

Alles dies drängte die Naturforscher zur Naturphilosophie hin, wenn sie es auch selbst nicht Wort haben wollten. Die Philosophen, die nach dem Zusammenbruch der spekulativen Systeme gerade der Naturphilosophie gegenüber sehr zurückhaltend blieben, näherten sich ihr doch von der Wissenschaftslehre, von der Erkenntnistheorie her, die nach dem Bankrott der nachkantischen Metaphysik vielen, insbesondere den Neukantianern, als die eigentlich zentrale philosophische Wissenschaft erschien. Schopenhauer, dessen lange Zeit wenig beachtete Werke in ihren naturphilosophischen Partien doch immerhin die Erfahrung nicht völlig vernachlässigten, kam zur Geltung. Vor allem waren es aber Philosophen, die von der Naturwissenschaft kamen und mit ihrem Rüstzeug und ihren Ergebnissen wohl vertraut waren, welche mit vollem Bewußtsein die Philosophie an die Naturwissenschaft anknüpften und auf sie aufbauten. Hier sind in erster Linie Fechner und Lotze zu erwähnen, von denen jener durch das freie Walten seiner Phantasie, dieser durch seine logisch-konstruktiven Fähigkeiten noch an die spekulative Epoche erinnert. Beide aber vereint das Bestreben, wie der empirischen Naturforschung, so den Bedürfnissen des menschlichen Gemüts gerecht zu werden. — Auch E. v. Hartmann wäre an dieser Stelle zu nennen.

Neues Aufstreben der Naturphilosophie.

Seither ist der Gedanke, die gesamte Naturforschung beim Aufbau der philosophischen Weltanschauung in weitestem Umfange heranzuziehen, immer mehr zur Geltung gelangt. Die Naturforscher selbst haben nach und nach, wenn auch noch nicht überall, den Materialismus verlassen. Dafür haben sie die erkenntnistheoretischen Probleme, welche ihre Wissenschaft darbietet, vielfach in Angriff genommen. Und wenn bei ihrem historisch zumeist nicht geschulten Philosophieren neben manchem Wertvollen auch viel Unzulängliches zutage gefördert worden ist, so bleibt diese neuere Richtung doch jedenfalls der materialistischen Strömung an philosophischer Einsicht überlegen. Auf die Dauer aber konnten sich die naturphilosophischen Bestrebungen nicht auf das erkenntnistheoretische Grenzgebiet beschränken. Die zersplitterte Kleinarbeit fordert Synthese und Ausgleichung in einem wissenschaftlichen Bilde der Gesamtnatur.

Naturforscher als Erkenntnistheoretiker.

So ist die Naturphilosophie mit den spekulativen Systemen nicht abgestorben; sie strebt gegenwärtig mit neuer Kraft ihren Zielen zu. Auch der verpönte Name kommt allmählich wieder zu Ehren, nachdem hervorragende Naturforscher, wie Ostwald und Boltzmann, sich zu ihm bekannt haben. Unter den Philosophen der jüngsten Vergangenheit aber haben führende Geister sich der Disziplin angenommen.

Naturphilosophie der Gegenwart.

Freilich sind auch Tendenzen vorhanden, die sich gegen eine engere Verbindung von Philosophie und Naturwissenschaft richten. Der ungeheure Einfluß der letzteren auf das Kulturleben hat, wie das bei jedem einschneidenden Kulturfaktor der Fall ist, manche unerfreulichen Folgen gezeitigt. Diese haben eine Gegnerschaft gegen weiteres Vordringen der Naturwissenschaft und ihres Geistes in alle Kulturgebiete hervorgerufen. So hat auch die Orientierung der Philosophie an der Naturwissenschaft einflußreiche Gegner, die engerer Verbindung mit den Geisteswissenschaften, insbesondere mit den historischen Disziplinen zustreben. Hiermit verbindet sich vielfach eine Rückkehr zur nachkantischen Metaphysik, für die die Geisteswissenschaften ebenfalls von grundlegender Bedeutung waren (Hegelianismus).

Es ist fast selbstverständlich, daß eine Annäherung der Philosophie an die Naturwissenschaft philosophische Untersuchung und Verwertung der Geisteswissenschaften keineswegs zu behindern braucht.

VORLÄUFIGE BESTIMMUNG DES BEGRIFFES NATUR.

Die geschichtliche Skizze zeigte, daß die Aufgabe der Naturphilosophie verschieden gefaßt worden ist. Das Wort Natur hat in der philosophischen Entwicklung keinen schlechthin festen, unveränderlichen Sinn. Auch die Trennung der Naturphilosophie von der Naturwissenschaft gab und gibt Anlaß zu Schwierigkeiten bei der Abgrenzung ihrer Aufgaben.

Vieldeutigkeit des Wortes Natur. Zunächst gilt es, dem Worte Natur einen bestimmten Sinn beizulegen. Die Vieldeutigkeit dieses Wortes liegt auf der Hand, und die Zahl der Begriffsbestimmungen, welche sich bei den Philosophen der Vergangenheit und Gegenwart finden, ist ungemein groß. Wir können hier aber von Definitionen absehen, die vom Gesichtspunkt und im Interesse einzelner philosophischer Systeme geschaffen wurden und nur für diese eine Bedeutung haben.

Jedoch auch dann bleibt eine erhebliche Vieldeutigkeit bestehen. Das Wort Natur kann die ganze Welt, die Gesamtheit alles Wirklichen bezeichnen. Dieser Wortsinn findet sich vor allem bei manchen Philosophen, z. B. bei Spinoza, für den die Gleichung Gott = Natur = Allsubstanz besteht.

Ferner kann der Ausdruck Natur das Wesen, den Grundcharakter eines Objektes in sehr weitem Sinne bezeichnen. So sprechen wir von der ehrlichen Natur eines Menschen, der bösartigen Natur eines Tieres, von der zähen Natur eines Unkrautes, der explosiblen Natur des Dynamits, auch von der Natur der Aufgabe usw.

Ein dritter Naturbegriff ist nur in einem engeren Gebiete anwendbar. Wir sprechen von Naturmenschen, Naturprodukten usw. im Gegensatz zu Kulturmenschen, Kunst- oder technischen Produkten. Dabei erscheint die Natur als das von der menschlichen Kulturtätigkeit Unberührte oder doch als das im wesentlichen von ihr Unabhängige, Unveränderte. Damit hängt es auf das engste zusammen, wenn wir natürlich mit ungekünstelt, ungezwungen gleichsetzen.

Endlich ist eine weitere Wortbedeutung hier besonders wichtig, die mit der soeben angegebenen in entferntem Zusammenhange steht. Die Kultur ist als Produkt des menschlichen Geisteslebens zu betrachten. So kämen wir zu dem Begriffspaar Natur und Geist. Das Wort Geist hat seinerseits eine Anzahl von Bedeutungen, kann aber allenfalls mit Seele gleichbedeutend sein. So scheidet man seelische Wirklichkeit und Naturwirklichkeit oder Körperwelt.

Bestimmung der Wortbedeutung. Um die Aufgabe der Naturphilosophie festlegen zu können, müssen wir dem Worte Natur eine bestimmte Bedeutung geben. Bei der Wahl zwischen den verschiedenen Wortbedeutungen ist selbstverständlich vor allem der Sprachgebrauch der Naturwissenschaft zu berücksichtigen. Sie verwendet das Wort Natur zwar auch in verschiedenem Sinne; doch benutzt sie es vorwiegend zur Bezeichnung des Gegenstandes, den sie erforscht.

Natur = Körperwelt.

Den Gegenstand der Naturforschung bildet die Körperwelt in ihrem ganzen Umfange; sowohl „Natur-" wie „Kulturprodukte" werden von ihr untersucht. Die Elemente und Verbindungen des Chemikers sind teils Naturprodukte, wie Gold und Wasser, teils künstliche oder Kulturprodukte, wie Kalium und Chloroform, aber sie sind in allen Fällen Körper.

Nichtkörperliche Realitäten in der Naturwissenschaft.

Doch ein naheliegendes Bedenken scheint dieser Festlegung der Wortbedeutung im Wege zu stehen. Gewiß, der Physiker und der Chemiker, der Astronom und der Mineraloge, und etwa auch der Botaniker haben es mit der Körperwelt zu tun. Aber die Zoologie beschränkt sich nicht auf die Erforschung des Tierkörpers; in der Tierpsychologie zieht sie auch die Tierseele in den Kreis ihrer Untersuchungen.

Es gibt allerdings eine radikale Richtung in der Naturforschung, die auch in der Biologie jede Beschäftigung mit seelischen Tatsachen ablehnt. Von Geruchs- und Gesichtswahrnehmungen, von Vorstellungen, von Lust und Schmerz usw. soll in der Naturwissenschaft nicht die Rede sein, sondern allein von körperlichen Vorgängen und Zuständen im Nervensystem (Beer, Bethe, von Uexküll, zur Strassen u. a.).

Solchen Bestrebungen liegt indes die hypothetische Voraussetzung zugrunde, daß der Zoologe das Tun und Lassen der Tiere im Prinzip aus materiellen Ursachen völlig erklären könne, weil Bewußtseinsvorgänge, wie Empfindungen oder Schmerzen, niemals als Ursachen in das materielle Geschehen im Tierkörper eingreifen. Wer jedoch glaubt, daß Vorstellungen, Lust- und Schmerzerlebnisse, also seelische Tatsachen das Verhalten der Tiere mitbedingen, wird bei der Erklärung tierischen Verhaltens seelische Faktoren mitberücksichtigen müssen. Jedenfalls haben sich die Zoologen bisher das Recht genommen, die Tierseele in den Kreis ihrer Forschungen zu ziehen.

Schließlich beweist dies nichts gegen unsere Festlegung der Bedeutung des Wortes Natur; es zeigt nur, daß es Grenzgebiete zwischen Naturwissenschaft und Psychologie gibt. Nach streng sachlichen Gesichtspunkten gehört die Erforschung der Tierseele in die Psychologie. Wie aber die Elektrizitätslehre stellenweise der Chemie bedarf, und die Chemie der Wärmelehre, so gebraucht der Zoologe zur Erklärung der Bewegungen des Tierkörpers zuweilen psychologische Kenntnisse, und diese sucht er sich selbst zu verschaffen, wenn er sie der Psychologie selbst nicht entnehmen kann oder mag.

Praktische Bedürfnisse und historische Gründe sind oft für die Verbindung und Abgrenzung der Wissensgebiete mitbestimmend; die sachlich- systematischen Gesichtspunkte, welche die Wissenschaftslehre aufstellen mag, geben

nicht immer den Ausschlag bei der organischen Entwicklung des Wissensreiches und seiner Gliederung.

Die Wirklichkeit bildet einen einheitlichen Zusammenhang. Wenn man die körperliche Wirklichkeit in der Naturwissenschaft für sich, isoliert, betrachten will, so findet der Zoologe, daß die Körperwelt nicht als isolierte besteht, sondern in den Tierleibern mit der Welt des Seelischen zusammenhängt und ohne letztere (wenigstens vorläufig) nicht völlig verstanden werden kann. Umgekehrt muß die Menschheitsgeschichte, deren Gegenstand jedenfalls nicht in der vom Seelischen isolierten Körperwelt zu suchen ist, zuweilen rein materielle Vorgänge berücksichtigen, wie große Katastrophen, Meeresstürme, die eine Flotte, Vulkanausbrüche oder Erdbeben, die eine Stadt vernichten.

Wenn wir die Körperwelt als Gegenstand der Naturforschung bezeichnen, so wollen wir letzterer keineswegs die Berechtigung absprechen, nichtkörperliche Weltfaktoren zu berücksichtigen. Wo immer nicht-materielle Faktoren für das körperliche Geschehen von Bedeutung sind, muß die Naturwissenschaft sie in Betracht ziehen. Sie wird daher auch den Vitalismus in der Biologie nicht von vornherein grundsätzlich ablehnen dürfen, welcher annimmt, daß das körperliche Geschehen im lebendigen Leibe unter dem Einfluß nichtkörperlicher, nicht-physikochemischer, sondern etwa seelischer oder seelenartiger Faktoren steht. Wenn die Erfahrungstatsachen für den Vitalismus sprechen, wenn die Lebensvorgänge ohne die Mitwirkung nicht-physikochemischer Faktoren nicht befriedigend erklärt werden können, dann hat die Naturforschung solche Faktoren anzunehmen und wissenschaftlich zu bestimmen. Die Psychologie erforscht die seelische Wirklichkeit; doch berücksichtigt sie in weitem Umfange nicht-seelische, physiologische Vorgänge, weil der Zusammenhang von Seele und Leib dies fordert. Der Naturwissenschaft muß man ein entsprechendes Recht zur Grenzüberschreitung einräumen.

Die Naturwissenschaft will in erster Linie die Körperwelt erforschen; letztere ist darum zweckmäßigerweise z u n ä c h s t als Natur zu bezeichnen. Wenn man will, kann man dann noch nicht-körperliche Faktoren insoweit zur Natur rechnen, als sie zum Verständnis des körperlichen Geschehens unentbehrlich sind und insofern sie zu diesem Zwecke herangezogen werden müssen.

Einwände von seiten einer Kritik des Körperbegriffes. Wenn wir die Aufgabe der Naturphilosophie festlegen, indem wir die Natur zunächst als Körperwelt auffassen, so bauen wir, scheint es, auf einem recht unsicheren Fundamente. Denn der Körperbegriff ist von Philosophen und später auch von Naturforschern derart analysiert und kritisiert worden, daß man meinen könnte, er müsse als wissenschaftlich vernichtet gelten.

Der Körper als Komplex von Empfindungen.

Auf die Frage, was ein Körper, sagen wir ein Apfel, sei, ist nach Berkeley zu antworten, daß er einen Komplex von Empfindungen darstelle: von Farbenempfindungen des Grünen und Roten, von Tastempfindungen des Glatten und mäßig Harten, unter Umständen auch von Geruchs- und Geschmacksempfindungen. Manche Philosophen und Naturforscher der Gegenwart stimmen im wesentlichen dieser Analyse zu. So werden wir belehrt, die

Naturwissenschaft habe es mit Empfindungen zu tun, wie die Psychologie.

Macht man Ernst mit dieser Ansicht, so ergibt sich also von neuem die Schwierigkeit, wie das Reich der Natur abzugrenzen sei. Es fragt sich aber, ob wir Berkeley und seinen Nachfolgern zuzustimmen haben.

Sie belehren uns etwa, der Astronom, der den Lichtwechsel eines Sternes, der Chemiker, der die Umfärbung einer Lösung, der Physiker, der das Aufleuchten einer Spektrallinie beobachte, habe es doch mit Empfindungen zu tun; und ein gleiches gelte von aller Naturforschung.

Kritik der Berkeleyschen Lehre.

Es ist nicht zu bezweifeln, daß der beobachtende Naturforscher Empfindungen erlebt; aber ebenso sicher ist es, daß er (sofern er nicht gerade als Sinnesphysiologe ein Grenzgebiet bearbeitet) nicht seine eigenen, erlebten Empfindungen erforschen will, sondern die Veränderungen der Sterne, die chemischen Umsetzungen in der beobachteten Lösung, die Vorgänge im leuchtenden Körper, dessen Spektrum er betrachtet. Solche Veränderungen, Umsetzungen, Vorgänge sind nicht Empfindungen. Die Rückseite des Mondes oder den Urnebel, aus dem nach einer verbreiteten Anschauung unser Sonnensystem entstanden ist, hat kein Mensch gesehen, und ebensowenig Moleküle, Atome und Elektronen. Das sind Gegenstände der Naturforschung, die sicherlich nicht Empfindungen waren oder sind in dem Sinne, in dem wir Empfindungen kennen: wir kennen sie als Bewußtseinsinhalte von Menschen oder Tieren. Bei genauerem Zusehen aber gilt dasselbe von Elektromagneten und Silberlösungen, von Blütenpflanzen und Wirbeltieren.

Meine Farbenempfindungen wechseln, je nach dem ich vorher ins Grüne oder Blaue sah, je nach dem ich gesund bin oder unter dem Einfluß gewisser Gifte stehe, wenngleich das Licht, welches mein Auge trifft, völlig konstant bleibt. Empfindungswechsel und Wechsel der physikalischen Farbe sind also verschiedene Vorgänge.

Die Körper als „Wahrnehmungsmöglichkeiten“.

Die Tatsache, daß sich die Naturwissenschaft mit Vorgängen und Verhältnissen beschäftigt, die nicht wahrgenommen werden, hat zu einer Umbildung der in Frage stehenden Ansicht geführt. Man sagt uns, wenn der Naturforscher von der Rückseite des Mondes spreche, so meine er nicht wirkliche Empfindungen oder Wahrnehmungen, sondern „Wahrnehmungsmöglichkeiten“. Er meine, daß bei anderer Stellung des Mondes zur Erde seine Rückseite in der Wahrnehmung gegeben sein werde. So seien Körper „dauernde Wahrnehmungsmöglichkeiten“ und weiter nichts.

Wir kommen auf diese Auffassung später zurück, die mit besonderer Klarheit von St. Mill vertreten und von E. Laas den Bedürfnissen der Naturwissenschaft noch weiter angepaßt worden ist, übrigens auch der Lehre Kants sehr nahe steht. Sie mag aber richtig sein oder nicht, jedenfalls läßt sie unsere Bestimmung der Bedeutung des Wortes Natur unangetastet. Denn sie verwandelt nicht die Naturwissenschaft in eine Wissenschaft von Empfindungen; sie interpretiert nur (und vielleicht unzulänglich), was wir unter einem Körper zu verstehen haben

Notwendigkeit der Erkenntnistheorie für die Naturphilosophie.

Damit werden wir aber auf eine Aufgabe der Naturphilosophie aufmerksam, die bereits in der historischen Skizze angedeutet wurde. Der Begriff des Körpers ist dem täglichen Leben entnommen. Wir sehen, daß dieser Begriff interpretiert, analysiert, kritisiert werden kann. Begriffe, die aus dem Denken des praktischen Lebens, aus dem vorwissenschaftlichen Erkennen in die Naturwissenschaft aufgenommen worden sind, und zwar vielfach unbesehen, hängen mit Voraussetzungen zusammen, mit denen ebenso verfahren wurde. So setzt der Naturforscher mit der Weltauffassung des praktischen Lebens ohne weiteres („selbstverständlich") voraus, daß ein Körper (z. B. ein Tisch) weiterbesteht, wenn wir ihn nicht mehr sehen, weil wir uns abgewandt haben. Derartige Begriffe, wie der des Körpers, und die damit zusammenhängenden Voraussetzungen müssen sorgfältig untersucht werden, wenn wir über die Natur zur Klarheit kommen wollen. Solche Untersuchung aber ist Aufgabe der sogenannten Erkenntnistheorie. Wir erfahren also schon bei der vorläufigen Fixierung des Begriffes Natur, wie notwendig erkenntnistheoretische Überlegungen für die Naturphilosophie sind.

Hier ist noch nicht der Ort, diese Überlegungen in Angriff zu nehmen. Wir können den Begriff Natur hier doch nur provisorisch so weit festlegen, als für die Aufgabestellung der Naturphilosophie erforderlich ist. Es ist ein von der Logik längst bemerkter Übelstand, daß eine Wissenschaft beim Beginn ihrer Arbeit eines Begriffes von ihrem Gegenstande bedarf, um ihn in Angriff nehmen zu können, daß aber die Begriffsbestimmung eigentlich erst nach gründlicher Einsicht in den Gegenstand das Wesentliche an ihm sicher zu treffen vermag. Die Schwierigkeit ist nicht unüberwindlich, wie die Entwicklung der Wissenschaften zeigt. Für die vorliegenden Zwecke genügt der Hinweis, daß unsere Bestimmung des Naturbegriffes provisorisch bleibt und erst später, durch erkenntnistheoretische Untersuchung des Körperbegriffes, ihre Klärung und Festigung erhalten kann.

Den aus der Kritik des Körperbegriffes sich ergebenden Einwänden gegenüber dürfen wir also dabei bleiben, unter der Natur die Körperwelt (oder materielle Welt) zu verstehen.

Gegenüberstellung von Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften.

Einwände auf Grund neuerer Einteilungen der Wissenschaften. Der Natur, der Körperwelt, steht die seelische Welt gegenüber. Diesem Sachverhalte entspricht die einleuchtende Gegenüberstellung der Natur- und der Geisteswissenschaften. Die Letzteren umfassen die Psychologie als grundlegende Wissenschaft und die historisch-philologisch-soziologischen Disziplinen; sie erforschen die Tatsachen, Gesetze und Erzeugnisse der seelisch-geistigen Welt.

Windelbands und Rickerts Lehren.

In jüngster Zeit haben einflußreiche Forscher, vor allem Windelband und Rickert, in eindrucksvoller Weise die Gegenüberstellung von Natur- und Geisteswissenschaften kritisiert, die im englischen Empirismus (bei Bentham, St. Mill, auch bei dem Franzosen Ampère) zu klarer Formulierung gelangt war Nach der Auffassung der Kritiker hat es die Naturwissenschaft nicht allein mit der Körperwelt zu tun. Damit würde aber unsere Festlegung des Begriffes

Natur betroffen; denn sie sollte sich nach dem Wortsinn richten, der für die Naturwissenschaft grundlegend und richtunggebend ist.

Bei der Besprechung der Vieldeutigkeit des Wortes Natur wurde darauf hingewiesen, daß die Natur vielfach der Kultur gegenübergestellt wird. Dem entspricht die (Rickertsche, vorher von H. Paul geforderte) Gegenüberstellung von Naturwissenschaft und Kulturwissenschaft. Nahe verwandt ist die (Windelbandsche, schon bei Harms und Max Müller zu findende) Gegenüberstellung von Naturwissenschaft und Geschichtswissenschaft. Dabei wird die gegenwärtige Psychologie zur Naturwissenschaft gerechnet; damit wäre unsere Bestimmung des Begriffes Natur nicht vereinbar.

Wir beschäftigen uns hier nicht mit der Einteilung der Wissenschaften und brauchen das Für und Wider, welches in reger Diskussion zu den Windelband-Rickertschen Vorschlägen geäußert worden ist, nicht in vollem Umfange zu berücksichtigen. Es ist für unsere Zwecke nebensächlich, wenn schon ein Sprachforscher, wie H. Paul, gegenüber der Bezeichnung „Geisteswissenschaften" geltend machte, daß diese das Physische in recht weitem Umfange beachten müssen; man denke daran, in welchem Maße die Nationalökonomie oder als Teil der Sprachwissenschaft die experimentelle Phonetik es mit materiellen Verhältnissen zu tun haben. Freilich besagt das in unseren Augen noch nichts Entscheidendes gegen die Bezeichnung „Geisteswissenschaften"; denn bei der Gebundenheit des Geisteslebens an die Körperwelt versteht es sich von selbst, daß viele Tatsachen, Gesetze und Produkte des Seelischen nur im Zusammenhang mit der materiellen Wirklichkeit verstanden werden können.

Wenn wir andere Einteilungsfragen unentschieden lassen dürfen, so können wir doch nicht an dem Problem vorübergehen, ob die Psychologie zur Naturwissenschaft zu rechnen sei. Stellung der Psychologie.

Man weist darauf hin, daß die Psychologie gegenwärtig mit naturwissenschaftlichen, experimentellen Methoden arbeite. In der Tat gleicht das Instrumentarium der Psychologie in vieler Hinsicht dem physiologischen und physikalischen.

Von der Anwendbarkeit experimenteller Mittel und Methoden wird man jedoch die Stellung einer Disziplin im System der Wissenschaften nicht abhängig machen können; solche Methoden erobern immer neue Gebiete; sie haben bereits in der Sprachwissenschaft und in der Kunstgeschichte Aufnahme gefunden. Übrigens ist die Grundmethode der Psychologie, die der Selbstbeobachtung des eigenen, inneren Seelenlebens, von der Grundmethode der Naturwissenschaft, der der Beobachtung der äußeren, körperlichen Welt, wesentlich verschieden, wie die beobachteten Tatsachen, das Seelische und das Körperliche, verschieden sind.

Nun meint man wohl gar, die Unterscheidung des Seelischen und des Körperlichen sei bereits Bedenken ausgesetzt. Aber trotz aller monistischen Metaphysik wird für die Einzelwissenschaften der Unterschied zwischen einem seelischen Vorgang, z. B. einem Gedanken, und einem körperlichen Vorgang, z. B. der Ablenkung einer Magnetnadel, der einschneidendste bleiben, der der

Abgrenzung der Wissenschaften vom Wirklichen zugrunde gelegt werden kann. Auch die Wechselbeziehungen zwischen Körperlichem und Seelischem ändern daran nichts. Zuletzt hängt alles Wirkliche zusammen. Die Wissenschaft muß solche Zusammenhänge zunächst lösen, muß teilen, um zu herrschen. Dann kommt allerdings die bedeutsame Aufgabe hinzu, die Zusammenhänge selbst zu studieren. So wird die Naturwissenschaft ihr Objekt, die Körperwelt, zunächst unter Abstraktion von den Zusammenhängen mit der seelischen Wirklichkeit erforschen. Die Beachtung der körperlich-seelischen Beziehungen bleibt dann als überaus wichtige Grenzaufgabe, die weder von der Naturwissenschaft (der Zoologie, Physiologie usw.) übersehen, noch von der Psychologie vernachlässigt werden kann. Man wird zugestehen, daß die Psychologie nicht nur in kleinen Grenzgebieten, sondern in sehr beträchtlicher Ausdehnung den Zusammenhang mit der Naturwissenschaft wahren muß, weil für unsere Erfahrung alles seelische Leben an das leibliche gebunden ist.

Angesichts des einschneidenden Unterschiedes zwischen Körper und Seele erscheinen die neuen Einteilungsprinzipien, die zum Ersatz vorgeschlagen werden, doch weniger durchgreifend.

Gegenüberstellung von Naturwissenschaften und Geschichtswissenschaften.

Der Begriff der Entwicklung kann nicht zur Abgrenzung der „Geschichtswissenschaften" dienen; denn er ist gegenwärtig für wesentliche Teilgebiete der Naturwissenschaft nicht minder wichtig, wie für die historischen, philologischen, soziologischen Gebiete; er dringt zurzeit selbst in die Physik und die Chemie ein.

Windelband hat stark den Gegensatz der auf das *Allgemeine gehenden Gesetzeswissenschaften* und der auf die *individuellen Tatsachen gerichteten Wissenschaften* hervorgehoben, und erstere mit den *Naturwissenschaften*, letztere mit den *historischen Gebieten* gleichgesetzt. Schon Carlyle hat diesen Gesichtspunkt anschaulich zum Ausdruck gebracht in seinen gegenwärtig oft angeführten Worten: „Der Historiker spricht: Nur die Tatsache hat Bedeutung. Johann ohne Land ist hier vorbeigegangen — das ist bemerkenswert, das ist eine tatsächliche Wahrheit, für die ich alle Theorien der Welt hergeben würde. Der Physiker dagegen: Johann ohne Land ist hier vorbeigegangen — das ist mir sehr gleichgültig, da er nicht wieder vorbeikommt."

Indessen würden gewiß nicht alle Berufsgenossen so sprechen, wie Carlyles Historiker, vielleicht nicht einmal viele. Mancher würde ein weitgreifendes historisches Gesetz doch höher werten, auch wenn es ihm als Theorie bzw. Hypothese gelten müßte. Allerdings sind historische Gesetze oft genug allzu kühn aufgestellt worden, und dadurch ist dieser Begriff bei vielen in Mißkredit gekommen. In der Nationalökonomie und in der Sprachwissenschaft wird man auf die Formulierung von Gesetzen jedoch sicherlich nicht ganz verzichten wollen. Man darf solche Gesetze nur nicht einseitig an denen der Physik und Chemie messen; mit mehr Recht wird man sie biologischen Gesetzen zur Seite stellen können.

Keinesfalls kann man die Naturwissenschaften als Gesetzeswissenschaften

von den Tatsachenwissenschaften scheiden. Die Herstellung einer Himmels- oder Mondkarte, eine unzweifelhaft wichtige Aufgabe der Naturforschung, große Probleme der Geologie, der Biologie usw. zielen auf Erfassung individueller Verhältnisse. Zuletzt will alle Wissenschaft vom Wirklichen, selbst mit ihren Gesetzen, doch auch das Tatsächliche, Individuelle erkennen. Die Gesetze gelten eben für die individuellen Fälle. Die einzelnen Planeten bewegen sich in ihrem tatsächlichen Umschwunge um die Sonne gemäß den Keplerschen Sätzen bzw. dem Newtonschen Gravitationsgesetz. Diese Erkenntnis ist naturwissenschaftlich und betrifft doch auch individuelle, tatsächliche Verhältnisse.

Strenge Scheidung des Tatsachenwissens und der Wissenschaft von Gesetzen würde sachlich Zusammengehöriges, weil den gleichen Gegenstand Betreffendes, auseinanderreißen. Die Lehre von den Himmelskörpern, die Astronomie, würde durch eine unglücklich geführte Schnittlinie in zwei Teile geschieden, deren einer, von Gesetzen handelnd, zur ,,nomothetischen" oder Naturwissenschaft, deren anderer, von individuellen Dingen handelnd, zur ,,idiographischen" oder historischen Wissenschaft im weitesten Sinne gehören würde. Die Praxis der Forschung sorgt dafür, daß diese Teilung, die in der Konsequenz des Windelbandschen Prinzips liegt, sich nicht durchsetzt.

Vielleicht wird man mit Stumpf Windelband soweit entgegenkommen dürfen, daß man ein vorwiegend aufs Individuelle gerichtetes Interesse beim Historiker anerkennt; zugleich mag man zugeben, daß die Naturforscher vorwiegend ihr Interesse auf Allgemeines, auf Gesetze richten und bei der Erforschung des Einzelnen dies Ziel oft im Auge behalten. Freilich ist die Interessenrichtung abhängig von der Forscherindividualität, und ein Landesgeologe, der an der Feststellung individueller Verhältnisse mit voller Hingabe arbeitet, ohne auf Gesetze zu zielen, bleibt trotzdem Naturforscher. —

Der Unterschied zwischen der Erkenntnis individueller Tatsachen und der Gesetzeserkenntnis ist für die Lehre von der Wissenschaft sicherlich wichtig, und es ist gewiß wertvoll, den Windelbandschen Vorschlag sich zu verdeutlichen; aber es ist mir doch stets erstaunlich erschienen, daß man das ältere, so ungezwungen und sachlich trennende Einteilungsprinzip — Trennung nach den großen Gegenstandsgebieten: körperliche Welt und seelische Welt — so leichthin preisgeben will. —

Gegenüberstellung von Naturwissenschaften und Kulturwissenschaften.

Auch die Gegenüberstellung von Naturwissenschaften und Kulturwissenschaften entbehrt nicht einer berechtigten Grundlage, die schon durch die Anknüpfung an den im Sprachgebrauch fixierten Gegensatz von Natur und Kultur gegeben ist. Wenn aber der Begriff des Kulturwertes die großen Wissensgebiete trennen soll, indem er in den Naturwissenschaften fehlen, dagegen die historischen, philologischen, soziologischen Disziplinen charakterisieren soll, so müssen wir auch hier die Natürlichkeit und Zweckmäßigkeit des Einteilungsgesichtspunktes in Frage ziehen. Große Teile der Sprachwissenschaft haben zu Kulturwerten sicherlich nicht mehr Beziehungen, wie angewandte Naturwissenschaften. Bei der Erforschung der Sprache eines Negerstammes kommt der Gesichtspunkt des Kulturwertes nicht entscheidend in Frage. Gewiß ist

diese Sprache für den Negerstamm wertvoll und sie bezeichnet vorwiegend für den Stamm Wichtiges, Wertvolles und Schlimmes. Aber entsprechend wichtig sind die Warnungs- und Lockrufe usw. für Tierhorden und -familien, und sie signalisieren gleichfalls Wertvolles oder auch Gefährliches. Das Studium der tierischen Laute wird man doch der Zoologie überlassen müssen und allenfalls noch der Tierpsychologie zuweisen, jedoch nicht gut in die Kulturwissenschaften aufnehmen können. H. Paul, der schon vor Jahrzehnten den Ausdruck Geisteswissenschaften durch Kulturwissenschaften ersetzen wollte, hatte dieses Bedenken bereits ins Auge gefaßt.

Die Naturwissenschaft als Wissenschaft von der Körperwelt.

Wie man aber auch die Wissenschaften einteilen möge, der Unterschied der körperlichen und der seelischen Welt bleibt für die Forschung bestehen und wird weiterhin die Arbeitsgebiete trennen. So zerfällt jenes weitere Gebiet, welches Windelband als Naturwissenschaft bezeichnet, doch wiederum fraglos in Psychologie und Wissenschaft von der Körperwelt, und die letztere fällt mit befriedigender Genauigkeit zusammen mit dem, was wir alle als Naturwissenschaft zu bezeichnen durch die Tradition gewöhnt worden sind. Auch wenn die Windelbandsche oder Rickertsche Abgrenzung der historischen oder Kulturwissenschaften anerkannt würde, hätte man allen Anlaß, das gegenüberstehende Gebiet (wie man es auch bezeichnen möge) einzuteilen in Psychologie und Wissenschaft von der Körperwelt; und die letztere nennt man nun einmal Naturwissenschaft.

Wenn wir Natur und Körperwelt zunächst gleichsetzen, so dürfen wir uns also dabei stützen auf die herrschende Bedeutung des Wortes Naturwissenschaft, die trotz aller Kritik berechtigt bleibt.

NATURWISSENSCHAFT UND NATURPHILOSOPHIE.

Bei der Bestimmung der Aufgabe der Naturphilosophie stoßen wir auf eine neue Schwierigkeit, wenn wir nach ihrem Verhältnis zur Naturwissenschaft fragen. Beide erstreben die Erkenntnis der Natur, der Körperwelt. Müssen nicht beide zusammenfallen? Bleibt neben der Naturwissenschaft, die in umfassender Weise alle Teilgebiete der Körperwelt durchforscht, Raum für eine Naturphilosophie?

Was ist eine Wissenschaft?

Definition der Wissenschaft. Fragen wir uns zunächst: was sind die Naturwissenschaften? und vorher: was ist eine Wissenschaft? — Als Wissen bezeichnen wir sichere, wahre Erkenntnis. In der Wissenschaft tritt es uns in wahren Urteilen entgegen. Freilich erreichen die Wissenschaften nicht überall das Ideal der Sicherheit oder Gewißheit ihrer Urteile; sie müssen sich oft mit mehr oder weniger Wahrscheinlichem begnügen. Wo aber nicht einmal wahrscheinliche Annahmen oder Hypothesen erreichbar sind, da bleibt es bei bloßen Fragen, bei ungelösten Aufgaben oder Problemen.

Eine zusammengewürfelte Vielheit von wahren Urteilen, wahrscheinlichen Annahmen und Fragen wäre noch keine Wissenschaft. Urteile, Annahmen und Fragen müssen sich auf *denselben Gegenstand* oder auf eine Vielheit von sachlich zusammengehörigen Gegenständen beziehen.

Wenn man eine Fülle von Urteilen und Fragen über die Natur oder Körperwelt ohne Ordnung aufeinander folgen lassen würde, so ergäbe das keine Naturwissenschaft. Die *Ordnung* der Erkenntnisse und Probleme gehört zur Wissenschaft; und zwar ist zu fordern, daß diese Ordnung *sachlich* sei, sich nach den Beschaffenheiten der Gegenstände der Wissenschaft richte; doch dürfen bei der Anordnung immerhin auch andere Rücksichten (z. B. pädagogische, ästhetische usw.) mitsprechen, wenn sie die sachlichen nicht stören.

Eine sachlich geordnete Vielheit von wahren und wahrscheinlichen Urteilen und Fragen, die sich auf denselben Gegenstand oder auf dieselbe Vielheit von sachlich zusammengehörigen Gegenständen beziehen, wäre immer noch keine Wissenschaft. Sonst müßte eine mathematische Formelsammlung mit eingefügten Fragen (zu lösenden Aufgaben) die Darstellung einer Wissenschaft bilden. Was eine solche Darstellung, etwa ein mathematisches Lehrbuch, von der Formelsammlung vor allem unterscheidet, sind die Untersuchungen und Begründungen der Fragen und Urteile, die diese in innigen Zusammenhang bringen.

Es ergibt sich also: *eine Wissenschaft ist ein sachlich geord-*

neter Zusammenhang von Fragen, wahrscheinlichen Annahmen und wahren Urteilen nebst zugehörigen und verbindenden Untersuchungen und Begründungen, die sich auf denselben Gegenstand (bzw. auf dieselbe Vielheit von sachlich zusammengehörigen Gegenständen) beziehen. Alle intellektuellen Operationen, die solchen Zusammenhang anstreben, rechnen wir zur Wissenschaft.

Wissenschaft von der Natur und Naturwissenschaften. Ist der in Frage stehende Gegenstand die Natur, die Körperwelt, so haben wir die Wissenschaft von der Natur vor uns.

Lassen die Naturwissenschaften Raum für eine Naturphilosophie übrig?

Wir stellen zunächst fest, daß die Naturphilosophie oder Philosophie der Natur, falls es dergleichen überhaupt gibt, zur Wissenschaft von der Natur gehört. Denn die Philosophie der Natur soll eine Wissenschaft sein, und zwar eine solche, die die Natur zu ihrem Gegenstande hat.

Andererseits gehören zur Wissenschaft von der Natur, zum Gesamtzusammenhang der Erkenntnisse, Probleme, Untersuchungen und Begründungen, die die Natur zum Gegenstande haben, fraglos die sämtlichen einzelnen Naturwissenschaften, wie Physik und Chemie, Astronomie und Geologie, Botanik und Zoologie usw. Bleibt daneben Raum für eine Naturphilosophie?

Daneben wohl nicht mehr; denn die Naturwissenschaften, einst alle eingeschlossen in die Naturphilosophie, haben, indem sie sich von der Philosophie loslösten und selbständig ausbreiteten, nach und nach das ganze weite Gebiet der Körperwelt untereinander verteilt. Die Wissenschaften vom Anorganischen übernahmen die tote, die biologischen Wissenschaften die lebende Natur; die Astronomie erhielt die Himmelskörper, die Geologie die Erde zum Gegenstande. Für eine Naturphilosophie scheint nichts übrig geblieben zu sein.

Doch steht dieser Überlegung schon die naheliegende Erkenntnis im Wege, daß auch die einzelnen Naturwissenschaften nicht alle einfach nebeneinander stehen, sondern ganz andere Beziehungen aufweisen. Die Sache liegt nicht so, als ob bei der Einteilung der Naturwissenschaften jede eine besondere und ihr allein zukommende Klasse von Körpern zur Erforschung zugewiesen erhielte. Dieselben Körper, welche der Mineraloge untersucht, unterstehen auch den Gesetzen der Physik und Chemie. Der Anatom und der Physiologe untersuchen dieselben menschlichen oder tierischen Organe. Nachdem die einzelnen Teildisziplinen der systematischen Zoologie und Botanik die Gesamtheit der Lebewesen untereinander aufgeteilt haben, bleibt neben oder über diesen Wissensgebieten noch Raum für andere Disziplinen, z. B. für die sogenannte Entwicklungsmechanik, jene moderne experimentelle biologische Wissenschaft, die sich (im Prinzip) mit allen Lebewesen beschäftigt. So könnte trotz der Aufteilung der Körperwelt durch die Naturwissenschaften wohl Raum bleiben für eine Philosophie der Natur.

Man kann dieselbe Sache von verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachten und so zu ganz verschiedenen Untersuchungen und Erkenntnissen kommen. Der Physiker und der Chemiker erforschen z. B. dieselbe Substanz, das gleiche Eisen. Der Physiker erforscht gewisse Eigenschaften des Eisens, die magne-

tischen etwa, der Chemiker andere. So berühren sich die Wissensgebiete, ohne sich zu decken, weil die erforschten Eigenschaften derselben Sache angehören, ohne identisch zu sein. Man darf eigentlich nicht sagen, daß beide Wissenschaften es mit demselben „Gegenstande" zu tun haben, falls man unter Gegenstand einer Wissenschaft das Erforschte oder zu Erforschende versteht; denn dieses besteht in unserem Beispiele in verschiedenen Eigenschaften (Klassen von Eigenschaften) oder „Seiten" derselben Sache. Wird diese von verschiedenen „Gesichtspunkten" aus betrachtet, so werden eben andere „Seiten" der Sache untersucht und erkannt. Der Anatom richtet sein Augenmerk auf den Bau, der Physiologe auf die Lebensverrichtungen des Leibes.

So bestehen kompliziertere Beziehungen zwischen den einzelnen Naturwissenschaften; sie haben es teils mit verschiedenen Klassen von Körpern zu tun, wie Zoologie und Botanik, teils richten sie sich auf verschiedene „Seiten", welche dieselben Körper darbieten, wie Anatomie und Physiologie; in anderen Fällen kombinieren sich diese Einteilungsprinzipien in wechselnder Art. So kann eine Gruppe von Körpern, welche von einer Wissenschaft in ihren Besonderheiten untersucht wird, einen Teil einer umfassenderen Gruppe bilden, deren allgemeine Eigenschaften von einer anderen Wissenschaft erforscht werden. Das Luftmeer, welches die Meteorologie beschäftigt, fällt auch in den Forschungsbereich der Physik, soweit seine allgemeinen Eigenschaften in Frage kommen.

Die Naturphilosophie soll ein Bild der Gesamtnatur zeichnen.

Philosophie der Natur. Das Bild der Gesamtnatur. Damit gewinnen wir eine Aussicht auf die Möglichkeit einer Philosophie der Natur; denn wie man die Philosophie als Wissenschaft auch bestimmen mag, für sie wird jedenfalls gegenüber den anderen, den Einzelwissenschaften die Richtung aufs Allgemeinste, aufs Umfassende und Ganze als charakteristisch gelten dürfen.

Der Gang unserer Überlegung führt uns an dieser Stelle vor die Aufgabe, den Begriff der Philosophie zu bestimmen, um dann zur Definition der Philosophie der Natur zu gelangen und weiterhin prüfen zu können, wie diese zu den Naturwissenschaften steht. Die Aufstellung einer Definition der Philosophie aber repräsentiert eine schwierige Aufgabe angesichts der Fülle stark divergierender Bestrebungen, die als philosophisch zusammengefaßt werden: die Liebe zu Weisheit und Erkenntnis, das Streben nach Bildung ohne Verweichlichung, in dem nach Thukydides' Angabe Perikles das Wesen der Philosophie erblickte, das Streben nach Tugend bei den Stoikern, das vernünftige Suchen nach Glückseligkeit bei den Epikureern, die Versenkung in das Göttliche bei Plotin oder mittelalterlichen Mystikern, die Monadenlehre bei Leibniz, die Synthese der positiven Wissenschaften bei Comte, der Inhalt einer modernen Logik oder Erkenntnistheorie, dazu die spezielleren philosophischen Disziplinen wie Ästhetik und Rechtsphilosophie, stellen so verschiedene Offenbarungen des menschlichen Geistes dar, daß sie sich nicht leicht ohne Gewaltsamkeit unter einen Begriff bringen lassen.

Doch können wir darauf vielleicht verzichten. Wir sprechen hier zunächst nur von der Philosophie als Wissenschaft, und lassen Philosophie als praktische

Lebensweisheit und Lebenskunst beiseite, ohne die verbindenden Beziehungen leugnen zu wollen. Wir brauchen aber nicht einmal eine bestimmte Definition der Philosophie, sofern sie Wissenschaft ist, aufzustellen, sondern können direkter auf unser Ziel hinarbeiten.

Die Naturphilosophie schloß einst alle Naturerkenntnis, alle Wissenschaft von der Natur, ein. Wir ziehen von der *philosophia naturalis* im alten Sinne die einzelnen, inzwischen selbständig gewordenen Naturwissenschaften und die Psychologie ab. Bleibt dann noch ein Rest übrig, so kann dieser vielleicht heute als Naturphilosophie bezeichnet werden und neben den einzelnen Naturwissenschaften Berechtigung haben.

Uns scheint in der Tat ein solcher Rest aufweisbar zu sein.

Die Wissenschaft von der Natur muß als Ganzes einen sachlich geordneten Zusammenhang aller Erkenntnisse usw. über die Körperwelt darstellen. Die einzelnen Naturwissenschaften genügen zwar unserer Definition der Wissenschaft auf ihren Teilgebieten. Weil aber keine von ihnen das Gesamtgebiet des Naturerkennens umspannt, kann auch keine jene Forderung für die Gesamtnatur, die ganze Körperwelt, in vollem Umfange erfüllen. Es ist eine Synthese, die Erarbeitung eines sachlich geordneten Zusammenhangs zwischen den Ergebnissen, Problemen, Untersuchungen und Begründungen aller einzelnen Naturwissenschaften erforderlich, etwa in dem Sinne, wie sie der sogenannte Positivismus im Anschluß an A. Comte anstrebt.

Diskussion dieser Aufgabe.

Auf der einen Seite kann diese Aufgabe so gewaltig erscheinen, daß sie jede menschliche Kraft zu übersteigen droht. Keines Menschen Geist kann die Gesamtheit der von den Naturwissenschaften erarbeiteten Erkenntnisse aufnehmen. Glücklicherweise scheitert die Aufgabe nicht an dieser Unmöglichkeit. Wie man die Landkarten der europäischen Staaten zu einem Bilde Europas zusammenfassen kann, ohne dabei alle Details der Karten Deutschlands, Frankreichs usw. gegenwärtig zu haben, so kann man auch die großen, allgemeinen, weitgreifenden Ergebnisse der einzelnen Naturwissenschaften zu einem Bilde der Gesamtnatur, der ganzen körperlichen Welt, vereinigen, ohne dabei alle Einzelerkenntnisse zu beachten. Das Detailwissen stützt die allgemeineren und für das Bild der Gesamtnatur unentbehrlichen Resultate der Einzelwissenschaften und gelangt durch deren Vermittlung zur Geltung; es erhält durch sie auch seine Stelle im zusammenfassenden Bilde, an der es jederzeit eingezeichnet werden kann.

Auf der anderen Seite meint man vielleicht, die Aufgabe einer sachlichen Verbindung der einzelnen Naturwissenschaften zu einer Gesamtwissenschaft von der Natur sei gar zu einfach, und einer besonderen Naturphilosophie bedürfe es dazu nicht. Die Naturforscher selbst können eine Enzyklopädie der Naturwissenschaft am besten besorgen, indem sie in passender Weise zusammenwirken. Schließlich komme es ja nur darauf an, eine Reihe von Wissenschaften, sagen wir eine Reihe von Handbüchern, in richtiger, sachlicher Ordnung zusammenzustellen, so daß die Botanik nicht zwischen Physik und Chemie, sondern an die Seite der Zoologie zu stehen komme, usw. Dazu gehöre

einige Kenntnis aller Naturwissenschaften, die erforderlich sei, um ihre Beziehungen zu erfassen; aber es sei keine Philosophie dazu notwendig.

Ganz so einfach ist die Zeichnung eines wissenschaftlichen Bildes der ganzen Körperwelt indessen nicht. Nicht einmal eine Karte von Europa pflegt man herzustellen, indem man ausgeschnittene Karten von Deutschland, Österreich, der Schweiz usw. zusammenlegt oder -leimt. Das Gesamtbild soll übersichtlich sein; darum müssen die Details fortbleiben, und nur das Wichtige darf beibehalten und zusammengefaßt werden. Diese Auswahl des Wichtigen kann aber vom Standpunkt einer Einzelwissenschaft nur teilweise durchgeführt werden. Der Physiker weiß zwar am besten, was an seiner Wissenschaft für diese selbst am wichtigsten ist; er erkennt jedoch nicht so leicht, was für die Biologie, die Psychologie, die Nationalökonomie vor allem bedeutsam ist. Da muß man den Biologen, den Psychologen, den Nationalökonomen selbst um Rat fragen. Diesen Rat kann der Naturphilosoph einholen, indem er sich auf allen in Betracht kommenden Gebieten umsieht, soweit das einem Menschen möglich ist; und was dem einzelnen nicht einwandfrei möglich ist, gelingt durch gegenseitige Ergänzung und Korrektur.

Gegen die der Naturphilosophie zugewiesene Aufgabe einer Synthese der wichtigsten naturwissenschaftlichen Ergebnisse ließe sich jedenfalls eher einwenden, sie sei zu schwierig, als sie sei zu leicht. Die Schwierigkeit einer dringenden wissenschaftlichen Aufgabe kann dieser jedoch nicht ernstlich das Daseinsrecht streitig machen. Dringlich aber ist die genannte Aufgabe, weil starke intellektuelle Interessen ein wissenschaftliches Gesamtbild der Natur fordern.

Im Gesamtbild der Natur ist das für die Welt- und Lebensanschauung Wichtigste aus den Naturwissenschaften zu vereinigen.

In diesem Bilde ist das Wichtigste, das für die Gesamterkenntnis der Welt, der körperlichen und der geistigen, Bedeutsamste aus den einzelnen Naturwissenschaften sachlich zusammenzufassen. Der Vertreter einer einzelnen Naturwissenschaft kann als Einzelwissenschaftler, z. B. als Chemiker, diese Aufgabe nicht lösen; will er sie in Angriff nehmen, so muß er zum Philosophen werden. Nur indem man versucht, eine wissenschaftliche Gesamtauffassung der ganzen Welt wirklich aufzubauen aus dem Material, welches die einzelnen Wissenschaften liefern, d. h. nur indem man philosophiert, kann man erkennen, was für die Weltauffassung bedeutsam ist und was nicht. Hier liegt eine Aufgabe, die die Einzelwissenschaften vorbereiten können, indem sie das für sie selbst Wichtige herausheben — schon dadurch erhalten sie zuweilen einen philosophischen Zug —, die sie aber als solche nicht lösen können.

Die Subtraktion der einzelnen Naturwissenschaften von der „Wissenschaft der Natur“ läßt also einen Rest zurück; es bleibt die Aufgabe einer Vereinigung des für die Weltanschauung Wichtigsten aus den einzelnen Naturwissenschaften zu einer wissenschaftlichen Auffassung der Gesamtnatur. Diese Aufgabe dürfen wir der Naturphilosophie zuweisen; denn die *philosophia naturalis* erstrebte ein Bild der Gesamtnatur, nicht nur naturwissenschaftliche Einzelkenntnisse.

Welche Erkenntnisse, Probleme, Untersuchungen und Begründungen aber

sind für die Weltanschauung am wichtigsten? Offenbar diejenigen, die im Gesamtreich der Erkenntnis am weitesten greifen, die die umfassendsten Konsequenzen mit sich bringen, die die meisten, vielseitigsten und tiefsten Beziehungen und Zusammenhänge ergeben oder aufdecken. In diesem Sinne sind der Satz von der Erhaltung der Energie und die Entwicklungslehre wichtig, die Zahl der Staubgefäße des Wiesenschaumkrautes und die Zahnformel des Katzengebisses unwichtig für die Weltauffassung.

Zur Weltauffassung im weiteren Sinne gehört auch die Ansicht, die wir uns vom Menschenleben, von seiner Bedeutung und Stellung im Reiche der Natur und des Geistes bilden. Auch die Lebensauffassung kann eine wissenschaftlich begründete sein; sie bildet dann einen bedeutsamen Teil der wissenschaftlichen Weltauffassung. Für letztere wird daher insbesondere auch das als wichtig gelten, was für unsere Lebensauffassung von Bedeutung ist. Was die Naturwissenschaft über die Stellung des Menschen in der Natur zu sagen weiß, wird daher von der Naturphilosophie als wichtig herauszuheben und dem Gesamtbilde der Natur einzufügen sein. Durch die besondere Berücksichtigung des für die Lebensauffassung Bedeutsamen verliert die Naturphilosophie nicht an Objektivität, solange die Maßstäbe, mit denen sie Erkenntnisse, Untersuchungen und Begründungen mißt, die rein logischen der Wahrheit und Wahrscheinlichkeit bleiben.

Somit kommen Erfahrungserkenntnisse und Hypothesen in die Naturphilosophie.

Erfahrungserkenntnis und Hypothese in der Naturphilosophie. Im Vorübergehen sei auf einen wichtigen Unterschied der Naturphilosophie, wie wir sie erstreben, von der spekulativen deutschen Naturphilosophie des vorigen Jahrhunderts hingewiesen. Letztere wollte unabhängig von der Erfahrung, aus dem Verstand oder der Vernunft („*a priori*“, wie man mit einem Fachausdruck zu sagen pflegt), mit voller, „apodiktischer“ Gewißheit ihre Erkenntnisse gewinnen. Der Bestimmung unserer Aufgabe entsprechend müssen wir in unseren Ansprüchen bescheidener sein. Wir wollen wichtige Ergebnisse den einzelnen Naturwissenschaften entnehmen. Diese aber fußen auf Erfahrung und müssen sich gerade angesichts der weitreichenden Fragen — eben weil diese vielfach über direkte Erfahrung hinausreichen — mit Hypothesen begnügen. Die Atomlehre und die Entwicklungslehre sind solche naturphilosophisch bedeutsamen Hypothesen, die sich auf die Erfahrung stützen.

So ziehen Erfahrungserkenntnis und Hypothese in unsere Naturphilosophie ein. Nur zu oft können wichtige Fragen nicht einmal mit befriedigender Wahrscheinlichkeit entschieden werden. Es bleibt dann nichts übrig, als die Entscheidung durch sorgfältige Diskussion der möglichen Annahmen oder Hypothesen vorzubereiten.

Erweiterung der Aufgabe der Naturphilosophie. Bisher haben wir der Naturphilosophie die Aufgabe gestellt, die für die Weltauffassung wichtigsten Erkenntnisse, Probleme, Untersuchungen und Begründungen aus den einzelnen Naturwissenschaften herauszuheben und in sachlich geordneten Zusammenhang zu bringen. Diese Aufgabe aber weist über sich selbst hinaus.

Die einzelnen Naturwissenschaften teilen untereinander die Körperwelt auf; die einen haben es mit der toten, die anderen mit der lebenden Natur zu tun; diese Eigenschaften der Körper werden von der Physik, jene von der Chemie erforscht. Jede Wissenschaft, die ein besonderes Teilgebiet von Körpern, Eigenschaften oder Vorgängen untersucht, muß dabei von anderen Teilgebieten absehen. Werden nun die wichtigsten Ergebnisse der Einzelwissenschaften in sachlicher Ordnung zusammengestellt, so bleiben offenbar erhebliche Lücken in der Naturerkenntnis. Die Teilgebiete der Körperwelt, welche die Wissenschaften zum Zwecke der Erforschung isoliert haben, stehen in Wirklichkeit im engsten wechselseitigen Zusammenhang. Die tote und die lebendige Natur, die physikalischen und die chemischen Eigenschaften der Körper usw. hängen in eigenartiger und mannigfacher Weise zusammen. Diese Zusammenhänge sind von der Wissenschaft der Natur zu berücksichtigen. Das Bild der Gesamtnatur, dessen Zeichnung der Naturphilosophie zugewiesen wurde, kann nicht entworfen werden ohne sorgfältige Beachtung derselben.

Die Naturphilosophie ergänzt das Bild der Gesamtnatur durch selbständige Vermutungen auf Grund der naturwissenschaftlichen Daten.

Auch hier haben die Einzelwissenschaften freilich vorgearbeitet, so daß die Naturphilosophie vielfach wichtige Ergebnisse vorfindet, die sie herausheben und in den Zusammenhang ihres Naturbildes einfügen kann. Die Beziehungen zwischen physikalischen und chemischen Erscheinungen z. B. hat eine besondere Wissenschaft untersucht, die physikalische Chemie. Solcher Zwischen- oder Grenzwissenschaften gibt es mehrere; sie entstehen, wenn die Wissenschaften auf ihren Teilgebieten soweit fortgeschritten sind, daß bei weiterer Erforschung die Beziehungen und Zusammenhänge mit den Nachbargebieten nicht mehr vernachlässigt werden können.

Doch kann nicht verborgen bleiben, daß diese Zusammenhänge zwischen den Teilgebieten der Natur von den Einzelwissenschaften vielfach nur mit unbefriedigendem Erfolg bearbeitet worden sind. Es sei z. B. an die Frage nach dem Verhältnis des Lebens zur toten Natur erinnert. Sind die Lebewesen nur komplizierte Maschinen, in denen keine anderen als die von Physik und Chemie zu erforschenden Kräfte wirken, wie der biologische Mechanismus will? Oder wirken im lebenden Körper außer den Kräften der toten Natur andere, dem Lebendigen eigentümliche, etwa seelenartige Realitäten mit, wie der Vitalismus behauptet? Sind die Lebewesen aus toter Materie entstanden, wie die Urzeugungslehre meint; war aller Stoff ursprünglich organisiert, wie andere, kühne Hypothesen wollen, oder sind belebte und tote Materie gleich ursprünglich? Diese und manche ähnliche, für die Weltanschauung grundwichtige Zusammenhangs- und Grenzfragen sind von den Einzelwissenschaften noch nicht befriedigend bearbeitet, geschweige denn gelöst worden.

Hier liegt eine weitere, freilich gefährliche Aufgabe, zu deren Inangriffnahme die Naturphilosophie berufen erscheint. Mit ihrem Überblick über das Ganze der Natur mag sie den Versuch wagen, die Richtung der Zusammenhänge und Verbindungslinien auch dort noch zu verfolgen, wo die sichere Handleitung durch die einzelnen Naturwissenschaften aufhört.

Das ist eben insbesondere bei jenen Fragen der Fall, die den Zusammen-

hang der Einzelgebiete der Natur betreffen, und dort ist die Gefahr besonders groß, daß der Vertreter der Einzelwissenschaft einseitig urteilt, sofern er den Zusammenhang nur von seinem Gebiete aus betrachtet. Aber auch an den Grenzen der Natur, dort wo die Körperwelt mit dem Seelischen zusammenhängt, ergeben sich ähnliche Probleme. Schon die Physiologie hat an ihnen nicht vorübergehen können, ist jedoch oft der Gefahr einseitiger Beurteilung verfallen. — Das Bild der Gesamtnatur kann man nicht entwerfen, ohne die Beziehungen zum Seelischen zu berücksichtigen, die selbst in Einzelwissenschaften, wie der Zoologie bzw. der Psychologie nicht unberücksichtigt bleiben konnten.

Nicht nur bei solchen Grenz- und Zusammenhangsproblemen versagen die einzelnen Naturwissenschaften manchmal; wir erhalten zuweilen auch dann keine Antwort, wenn wir für die Weltauffassung wichtige Fragen an sie richten, die inmitten der einzelwissenschaftlichen Gebiete ihren Platz und ihre Lösung finden müßten. Der Zeichner des Naturbildes stößt auf Lücken, und zwar auch an solchen Stellen, die dringend eine Ausfüllung fordern, wenn ein leidlich befriedigendes Gesamtbild zustande kommen soll. Man denke z. B. an die ungelösten Schwierigkeiten des Vererbungsproblems. Da handelt es sich um Fragen, die für die Gesamtauffassung der lebenden Natur von größter Wichtigkeit sind. Freilich, in solchen Fällen wird, wenn einmal Vermutungen aufgestellt werden sollen, oft der Vertreter der Einzelforschung den sichereren Blick beweisen. Doch mag auch hier zuweilen die Beurteilung vom Gesamtbilde her, also die naturphilosophische Erwägung, ihren Wert haben.

So fordern wir für die Naturphilosophie das Recht, auf Grund der Daten, welche die Naturwissenschaften bieten, selbständig durch Vermutungen und Hypothesen das Bild der Gesamtnatur zu ergänzen. Dazu wird insbesondere bei den Zusammenhängen zwischen den Gebieten der einzelnen Wissenschaften und an der Grenze zwischen Naturforschung und Seelenforschung Anlaß sein.

Vorarbeit der Naturphilosophie für die Naturwissenschaft.

Unsere zunächst sachlich begründete Forderung erhält eine Stütze an historischen Erwägungen. Die Naturphilosophie ist immer den behutsameren Naturwissenschaften vorangeeilt. Das Bild eines Ganzen, und sei es auch noch so skizzenhaft, erfordert eine gewisse Vollständigkeit; einige Hauptlinien müssen durchgeführt werden. Oft genug ist die naturphilosophische Durchführung später von den Naturwissenschaften gutgeheißen worden. Die Atomhypothese, die mechanistische Auffassung in der Physik, die Abstammungslehre, das biologische Mechanismus-Vitalismusproblem und vieles andere hat die einzelwissenschaftliche Naturforschung der Philosophie entnehmen können.

Solche Vorarbeit der Naturphilosophie für die Naturwissenschaften ist allerdings durch allzu selbstsichere und leichtfertige Spekulationen in Mißkredit gekommen; sie bildet jedoch eine an sich berechtigte Aufgabe, wie Külpe neuerdings betont hat. Wer mit weitem Blick das Wesentliche eines Erscheinungsgebietes überschaut, kann zuweilen mit Glück Vermutungen über bisher noch Verborgenes aufstellen, deren Sicherung zurzeit unmöglich ist.

Der Naturphilosoph darf freilich nie vergessen, daß es sich bei der Vorweg-

nahme naturwissenschaftlicher Erkenntnisse nur um Vermutungen handeln kann, die durch naturwissenschaftliche Kleinarbeit bestätigt, umgestaltet und widerlegt werden können. Eine gewisse Umgestaltung und feinere Durcharbeitung hat immer stattgefunden, wenn naturphilosophische Hypothesen von den Naturwissenschaften aufgenommen wurden; so ist z. B. die Atomistik der heutigen Physik und Chemie von der Lehre Demokrits doch recht verschieden.

Es ist sozusagen das Ziel naturphilosophischer Vermutungen, in naturwissenschaftliche Hypothesen und Erkenntnisse überzugehen. Je weiter die Naturwissenschaft fortschreitet, um so mehr tritt die Aufgabe der Naturphilosophie, naturwissenschaftliche Hypothesen und Einsichten vermutend zu antizipieren, zurück; um so mehr tritt die andere Aufgabe hervor, die philosophisch wichtigsten Ergebnisse der Naturwissenschaften zum Bilde der Gesamtnatur zu vereinen.

Inwieweit gegenwärtig noch die Naturphilosophie jene Vorarbeit für die Naturwissenschaft leisten kann, ist schwer zu entscheiden, da es auf die Leistungsfähigkeit der Persönlichkeit, auf ihren umfassenden Blick, auf ihre Kraft der wissenschaftlichen Phantasie ankommt. Es muß zugegeben werden, daß die Aufgabe viel schwerer geworden ist seit der Zeit Demokrits oder Aristoteles'. Um allenfalls nützliche Vermutungen aufstellen zu können, muß man übersehen, wie sie zu dem von der Naturwissenschaft erarbeiteten Einzelmaterial passen; dieses aber ist im ganzen längst unübersehbar geworden. Zu Vermutungen, zum ersten Schritt der Hypothesenbildung, zur vorläufigen Abwägung der Möglichkeiten ist freilich der weite Blick über das Ganze der Natur heute so wichtig wie einst; aber es gehören heute viel mehr Einzelkenntnisse in dem besonderen Gebiete, für welches die Hypothese aufgestellt werden soll, dazu, Einzelkenntnisse, wie sie kein Mensch bezüglich aller Gebiete der Natur besitzt.

Wenn die Aufgabe, die in der provisorischen Aufstellung und Abwägung hypothetischer Möglichkeiten liegt, nützliche Bearbeitung erfahren soll, muß der Naturphilosoph im besonderen Gebiet der aufzustellenden Hypothese die Kenntnisse des Einzelforschers zu erwerben trachten, oder der Naturforscher muß sich den philosophischen, aufs Ganze und Wichtige gerichteten Blick zu eigen machen. Und was weder dem einen noch dem anderen in befriedigender Weise gelingt, können vielleicht beide durch gegenseitige Hilfe und Korrektur erreichen. Die Einsicht aber, daß die Aufgabe für den Naturwissenschaftler wie für den Philosophen ihre besonderen Schwierigkeiten hat, die nicht in der Person, sondern in der Sache liegen, sollte bei der Beurteilung der Mißgriffe, die hüben und drüben nicht vermieden worden sind, nicht außer Betracht gelassen werden.

Selbstverständlich gibt es gegenwärtig ungelöste Fragen in Fülle, die im Gebiete einer Einzelwissenschaft bleiben und gelöst werden müssen; hier hat der Naturforscher die Aufgabe zu übernehmen, durch Hypothesen die Lücke vorläufig zu füllen. Andererseits gibt es auch heute noch ungelöste Probleme

im Felde der Gesamtnatur, die eine philosophische Betrachtung fordern, welche sowohl das Naturganze wie das Gebiet des Seelischen berücksichtigt. Dies gilt von großen Grundfragen, die die lebende Natur darbietet. Sie hängt mit der seelischen Welt zusammen, und niemand wird sie im ganzen erfassen können, der nicht gerüstet ist, jene Zusammenhänge zu verstehen, weil ihm die Schulung fehlt, Seelisches mit wissenschaftlichem Blicke zu betrachten.

Eine scharfe Grenze zwischen Naturphilosophie und Naturwissenschaften ist unmöglich.

So sind die Aufgaben der Naturphilosophie und der Naturwissenschaften aufs innigste verwoben; eine scharfe Grenze zwischen den Gebieten gibt es nicht. Was die Naturwissenschaften der Naturphilosophie an Ideen und Hypothesen entnommen haben, gaben sie ihr in gefestigter und ausgebauter Form als Beitrag zum Bilde der Gesamtnatur zurück, das zuletzt Ziel alles Naturerkennens ist. Wenn der Naturwissenschaftler weiter aufs Ganze, der Naturphilosoph tiefer ins Einzelne vorzudringen sucht, sollte man darin nicht willkürliche persönliche Übergriffe sehen; der Zusammenhang der Aufgaben macht solche Erscheinungen verständlich und zuweilen fast notwendig. Selbst die Schranken, welche (insbesondere in Deutschland) die äußere Organisation der wissenschaftlichen Arbeitsteilung zwischen Naturphilosophie und Naturwissenschaft setzt, können keine Scheidung der Gebiete bewirken. Nicht wenige hervorragende Naturforscher sind trotzdem zu Naturphilosophen geworden. Uns gilt als Naturphilosoph, wer ein wissenschaftliches Bild der Gesamtnatur zu zeichnen versteht. Dazu gehört freilich noch in anderer als der bisher erörterten Hinsicht philosophisches Rüstzeug.

Naturphilosophie und Erkenntnistheorie. Wenn schon in bezug auf Fragen, die lediglich einzelne naturwissenschaftliche Disziplinen angehen, viel Meinungsstreit besteht, so wächst dieser doch noch ungemein, sobald es sich um die weitreichenden Auffassungen und Hypothesen handelt, die dem Bilde der Gesamtnatur die bedeutsamsten Züge verleihen. Darum muß die Naturphilosophie auch besondere Mittel anwenden, jenem Streit zu steuern.

Voraussetzungen des Naturerkennens.

Wo wissenschaftliche Richtungen sich befehden, gilt es, auf ihre Voraussetzungen zurückzugehen und sie zu prüfen. Höchste Aufmerksamkeit aber verdienen vor allem diejenigen Voraussetzungen, die die Streitenden selbst stillschweigend und unbeachtet, sozusagen als etwas Selbstverständliches, aufgenommen haben, die von ihnen etwa ungeprüft aus der naiven Weltanschauung des täglichen, praktischen Lebens übernommen worden sind, oder die sich bei der einzelwissenschaftlichen Arbeit gebildet und umgestaltet haben, ohne daß man sich dessen recht bewußt geworden ist.

Begriffe wie die der Ursache, der Wirkung, des Körpers, der Kraft, des Lebens und manche andere sind der vorwissenschaftlichen Welterkenntnis entlehnt. Sie sollen zur Erkenntnis der Naturwirklichkeit dienen. An diesen Begriffen hängen Voraussetzungen, die, ohne als solche bemerkt oder doch ohne zu rechter Klarheit gebracht zu werden, aus der gleichen Quelle in die Naturwissenschaften übergehen. Daß zahlreiche Körper existieren, unabhängig davon, ob eines Menschen Auge sie sieht, daß diese aufeinander wirken und sich bewegen, versteht sich für den von philosophischer Reflexion Un-

berührten von selbst; diese und mancherlei andere Voraussetzungen werden von den Naturwissenschaften einfach dem Weltbild des praktischen Lebens entlehnt.

Dabei bestehen zuweilen Widersprüche zwischen den Voraussetzungen der verschiedenen Wissenschaften. Der Botaniker spricht vom Rot der Blüten und dem Grün der Blätter, als ob er die in der Empfindung erfaßten Farbqualitäten unbedenklich den äußeren Dingen zusprechen dürfte, wie wir es im praktischen Leben zu tun gewöhnt sind. Der Physiker belehrt uns, daß dies eigentlich nicht angeht; er hat diese Voraussetzung längst aufgegeben; für ihn bestehen die Farbqualitäten des Rot und Grün nur in der Empfindung in uns. In der Außenwelt liegen ihnen elektromagnetische Verhältnisse zugrunde. Ein Laubblatt ist also an sich nicht mit dem Grün ausgestattet, das wir empfinden, sondern es besitzt lediglich die Fähigkeit, in uns diese Grünempfindung hervorzurufen. — Im einheitlichen Gesamtbild der Natur sind solche Differenzen, wie sie hier zwischen Physik und Botanik vorzuliegen scheinen, ganz unerträglich. Im vorliegenden Falle ist der Konflikt freilich leicht zu beseitigen, indem der Botaniker seine Voraussetzung aufgibt, daß die Farbe der Blätter dem Grün in unserer Empfindung gleicht, indem er die Auffassung des Physikers annimmt. Allein nicht stets liegt die Sache so einfach. Jedenfalls müssen derartige Voraussetzungen und die in ihnen steckenden Begriffe ans Licht gebracht und untersucht werden. Es handelt sich um weitreichende Voraussetzungen, die die verschiedenen großen Wissensgebiete (z. B. die Naturwissenschaft, die Arithmetik) und deren Gegenstände (z. B. die Körperwelt, die Zahlen) betreffen. Man pflegt von materialen Voraussetzungen zu sprechen. Wie schwierig deren Beurteilung sein kann, ist den Naturforschern, etwa vom Begriff der Kraft oder der Naturzweckmäßigkeit her, wohl bekannt.

Auch Begriffe, die von der Wissenschaft selbst geschaffen oder umgestaltet und entwickelt worden sind, bedürfen vielfach einer solchen Untersuchung. Man kann z. B. verschiedene Auffassungen vom Molekül bzw. Atom in verschiedenen Disziplinen der Physik und Chemie finden. Was hier (in der kinetischen Gastheorie) als elastischer Ball betrachtet wird, gilt dort (in der Elektronentheorie der Materie) als ein kompliziertes, einem Planetensystem vergleichbares Gebilde voll innerer Bewegung.

Auch da muß die Naturphilosophie die Widersprüche beseitigen und zu diesem Zwecke die Begriffe und die auf sie bezüglichen Voraussetzungen untersuchen.

Zur Naturphilosophie gehört Naturerkenntnistheorie.

Die Untersuchung grundlegender und weitreichender Begriffe und Voraussetzungen, welche die Gegenstände der einzelnen großen Wissensgebiete betreffen, ist Sache der Erkenntnistheorie. Solche Voraussetzungen liegen unseren Erkenntnissen zugrunde, ohne von den Einzelwissenschaften, etwa den Naturwissenschaften, genügend beachtet und untersucht zu werden. Die Naturphilosophie bedarf der Erkenntnistheorie zur Untersuchung und Klärung der Grundbegriffe und -voraussetzungen unserer Naturerkenntnis.

Indem sie so letzte, versteckte Grundannahmen hervorholt und untersucht,

befriedigt die Naturphilosophie eine Forderung, welche dem Worte entspringt, Philosophie sei Streben nach letzter Klarheit (Cornelius).

Auch aus der erkenntnistheoretischen Aufgabe der Naturphilosophie, auf die wir schon mehrfach stießen, und die uns im folgenden beschäftigen wird, ergibt sich keine scharfe Abgrenzung gegenüber den Naturwissenschaften. Diese selbst haben gelegentlich Anlaß, bisher unbeachtete Voraussetzungen ans Licht zu holen. Die Physik hat z. B. schon längst eine Voraussetzung des vorwissenschaftlichen Weltbildes abgestreift: sie spricht nicht mehr die Empfindungsinhalte des Rot und des Grün, des Warm und des Kalt usw. den Dingen selbst zu, die unabhängig von unserer Wahrnehmung bestehen.

Was die einzelnen Naturwissenschaften beginnen, wenn ihre Arbeit sie hier oder dort einmal dazu drängt, muß die Naturphilosophie in ihrem erkenntnistheoretischen Teile eingehend und gründlich durchführen. Dabei darf sie sich auf die Begriffe und Voraussetzungen beschränken, die besonders für das Naturerkennen in Betracht kommen; wir sprechen in diesem Sinne von Naturerkenntnistheorie.

Da in der Naturerkenntnistheorie oberste Voraussetzungen des Naturerkennens in Frage kommen, die (wie z. B. die Annahme einer von unserer Wahrnehmung unabhängigen Körperwelt) bei der spezielleren Naturbetrachtung stets schon zugrunde liegen, wird man in einer systematischen Darstellung der Naturphilosophie mit dem erkenntnistheoretischen Teil beginnen. Es wäre indessen unzweckmäßig, wenn die ganze erkenntnistheoretische Arbeit, die Untersuchung aller für sie in Frage kommenden Begriffe und Voraussetzungen, in diesem Teile vorweggenommen würde. Ein Begriff wie der der Naturzweckmäßigkeit, bei dessen Beurteilung gewiß erkenntnistheoretische Gesichtspunkte in Frage kommen, kann doch nur erfolgreich untersucht werden im Zusammenhang mit den biologischen Tatsachen und Problemen, zu deren Bewältigung er dienen soll. Wir werden ihn also prüfen, wenn wir beim Entwurf des Bildes der Gesamtnatur das Gebiet der Biologie betreten haben.

Demnach beginnt unsere Arbeit mit einem erkenntnistheoretischen Teil. Dann soll die Zeichnung eines Bildes der Gesamtnatur folgen, wobei indes erkenntnistheoretische Untersuchungen immer wieder aufgenommen werden müssen.

Philosophie der Natur und Philosophie der Naturwissenschaft. Durch ihre erkenntnistheoretischen Untersuchungen hängt die Naturphilosophie mit einem Teile der (im Anschluß an J. G. Fichte) sogenannten Wissenschaftslehre zusammen, mit der Philosophie der Naturwissenschaft.

Naturphilosophie und Philosophie der Naturwissenschaft haben verschiedene Ziele.

Die Naturphilosophie hat die Natur zu ihrem Gegenstande; sie will das Ganze der Natur erkennen. Die Philosophie oder Wissenschaftslehre (auch wohl Logik — in einem weiteren Sinne) der Naturwissenschaft hat nicht die Natur selbst, sondern die Naturwissenschaft zum Gegenstande; sie will deren logische Struktur, Voraussetzungen und Methoden erforschen. Sie fragt nach der Rolle von Voraussetzungen, Axiomen, Postulaten und Konventionen, von Erfahrung und Vernunft, von Induktion und Deduktion, von Analyse und Synthese,

von Beschreibung und Erklärung, von Beobachtung und Experiment, von Vergleichung, Veranschaulichung und Idealisierung, von Hypothese und Fiktion usw.

So haben die Naturphilosophie und die Philosophie der Naturwissenschaft verschiedene Aufgaben. Sie sind trotzdem nicht scharf getrennt; die eine ist auf die andere angewiesen. Wir haben gesehen, daß die Naturphilosophie die erkenntnistheoretische Untersuchung der Voraussetzungen des Naturerkennens braucht, um ihr eigentliches Ziel, die Erfassung der Gesamtnatur, zu erreichen. Die Wissenschaftslehre der Naturwissenschaft bedarf wiederum des wissenschaftlichen Bildes der Natur, um zu erkennen, welche Voraussetzungen und Methoden zu seiner Erarbeitung dienen. Berührungspunkte.

Trotz dieser Zusammenhänge, die in unseren Darlegungen zur Geltung kommen, bleiben die Aufgaben und Ziele der beiden philosophischen Disziplinen verschieden. Die Erkenntnistheorie (und was aus der Wissenschaftslehre sonst noch heranzuziehen ist) ist für die Naturphilosophie nicht Selbstzweck, sondern Mittel, das wissenschaftliche Bild der Gesamtnatur von Widersprüchen zu befreien und zu möglichster logischer Vollendung und Klarheit zu bringen.

Von manchen Philosophen wird übrigens die Philosophie der Naturwissenschaft zur Naturphilosophie gerechnet. Sie können die erwähnten, in der Tat mannigfachen und innigen Zusammenhänge für ihre Auffassung geltend machen. Doch scheint uns die Verschiedenheit der Aufgaben und Ziele vor allem Beachtung zu verdienen. Die Philosophie der Naturwissenschaft gehört zur Wissenschaftslehre, die Naturphilosophie zu der philosophischen Disziplin, die das Gesamtwirkliche in seinem einheitlichen Zusammenhange erfassen will, zur Metaphysik.

Es gilt also, die für die Welt- und Lebensauffassung wichtigsten naturwissenschaftlichen Erkenntnisse Probleme, Untersuchungen und Begründungen in sachlicher Ordnung zu einem Bilde der Gesamtnatur zu vereinigen; dies Bild ist durch vorläufige Vermutungen, welche der die einzelnen Naturwissenschaften überschauende Blick eingibt, zu vervollständigen, durch erkenntnistheoretische Untersuchungen zu fundieren, von Widersprüchen zu befreien und zu klären. Ergebnis: Aufgabe der Naturphilosophie.

Die erkenntnistheoretischen Betrachtungen betreffen die grundlegenden Voraussetzungen des Naturerkennens; wir werden also mit ihnen beginnen.

NATURERKENNTNISTHEORIE.

AUFGABE DER ERKENNTNISTHEORIE, INSBESONDERE DER NATURERKENNTNISTHEORIE.

Auf den nicht philosophischen Gebieten macht gelegentlich die Abgrenzung der Wissenschaften, die Bestimmung ihrer Aufgaben, gewisse Schwierigkeiten, weil die Erkenntnisgebiete zusammenhängen. In der Philosophie wachsen diese Schwierigkeiten. Es ist nicht lediglich eine Manifestation belangloser Willkür, wenn der eine Denker die Aufgabe der Erkenntnistheorie anders bestimmt als der andere; vielmehr spiegeln sich in solchen Differenzen wesentliche sachliche Gegensätze. Unter diesen Umständen können wir unsere Auffassung von der Aufgabe der Erkenntnistheorie nicht ohne weiteres der Bearbeitung des Gebietes voranstellen; wir müssen die Aufgabe-Bestimmung und die Abgrenzung gegen andere Disziplinen erst begründen.

Aus der Geschichte der Erkenntnistheorie. Im Altertum fehlt es nicht an erkenntnistheoretischen Ansätzen. Schon eine Kritik der Wahrnehmungserkenntnis und eine damit verbundene Wertung des Denkens, wie wir sie in der eleatischen Schule finden, gehört hierher; ferner dann (wenn wir andere Vorsokratiker hier übergehen) die Angriffe der Sophisten auf die überindividuelle, die allgemeine Gültigkeit der Erkenntnis und die sokratische Antikritik, aus der sich bedeutsame erkenntnistheoretische Lehren bei Plato und Aristoteles entwickeln; endlich seien die Lehre vom Kriterium der Wahrheit und der Skeptizismus in der nacharistotelischen Philosophie erwähnt. Altertum.

Zu einer selbständig ausgebauten und nicht nur skeptisch negierenden Erkenntnistheorie als einer fundamentalen philosophischen Wissenschaft ist das Altertum nicht gelangt.

Sie erwuchs in der englischen Erfahrungsphilosophie. Deren Begründer F. Bacon faßte den Plan einer solchen Disziplin. Durch J. Locke wurde sie dann verwirklicht, von G. Berkeley und D. Hume durch wichtige Untersuchungen bereichert. Neuzeit.

Der Empirismus Lockes fand eine bedeutsame Kritik in Leibniz' Erkenntnistheorie, welche vor allem auf die Vernunft als Quelle der Erkenntnis Gewicht legt (Rationalismus); auch der ältere Rationalismus hat wichtige erkenntnistheoretische Gedanken hervorgebracht. Bei Descartes kommen sie bereits zu reicherer Entfaltung.

Eine zentrale Stellung und eindringende Bearbeitung wird der Disziplin durch Kant zuteil, der, vom Rationalismus ausgehend, zwischen diesem und dem Empirismus einen Ausgleich oder eine Synthese anstrebt. Fichtes Wissen-

schaftslehre geht über das Gebiet, welches man heute der Erkenntnistheorie zuzuerteilen pflegt, erheblich hinaus. Von Reinhold stammt die Bezeichnung.

Nach dem Niedergang der nachkantischen „spekulativen" deutschen Philosophie, insbesondere des Hegelianismus, kam ein neuer Aufschwung der Erkenntnistheorie. Man ging auf Kant zurück, um einen sicheren Ausgangspunkt für eigene Gedankengänge zu finden. Die Kraft erkenntnistheoretischer Argumente wurde im Kampf gegen den Materialismus erprobt. Erkenntnistheorie galt als wissenschaftliche Philosophie *par excellence*. Naturforscher, wie Helmholtz, Mach, Ostwald, Driesch, Verworn wandten und wenden sich ihr zu. Die Erweiterung philosophischer Interessen in der Gegenwart hat neben der Erkenntnistheorie andere Gebiete wieder mehr zur Geltung kommen lassen, ohne indes die philosophischen Bemühungen von ihr abzulenken.

Aufgaben, die der Erkenntnistheorie zugewiesen werden.

Differenzen bezüglich der Aufgabe der Erkenntnistheorie. Bei aller auf die Erkenntnistheorie in Vergangenheit und Gegenwart verwandten Mühe hat man sich bisher nicht einmal über ihre Aufgaben und über die Abgrenzung ihres Gebietes einigen können. Man fordert, sie solle den Ursprung oder die Quelle unserer Erkenntnis, ihre Elemente, ihre Bedingungen und Voraussetzungen, die allgemeinsten unmittelbarsten Wahrheiten, die Möglichkeit, die Berechtigung und den Wert des Erkennens, die Kriterien der Gewißheit, den Umfang und die Grenzen des Erkennbaren bestimmen usw. Durch diese Aufgabestellungen gelangt die Erkenntnistheorie in die Nachbarschaft, wenn nicht gar in die Gebiete der Psychologie und der Logik. So ergeben sich die Fragen, ob und wie unsere Disziplin von Psychologie und Logik abzugrenzen sei.

Erkenntnistheorie und Erkenntnispsychologie haben verschiedene Aufgaben.

Erkenntnistheorie und Psychologie. Daß eine Wissenschaft, die sich mit dem Erkennen beschäftigt, zur Psychologie gehören müsse, erscheint fast selbstverständlich. Das Erkennen ist ein seelisches Geschehen; mit der Erforschung des Seelischen hat es die Psychologie zu tun. Sie untersucht unter anderem den Ursprung, die Quelle und die Bedingungen, aus denen Erkenntnisse als seelische Produkte tatsächlich hervorgehen. Die Psychologie des Erkennens zeigt etwa, wie Urteile auf Grund von Wahrnehmungen und Erinnerungen zustandekommen, wie dabei Gefühle und Wünsche, überdies vielleicht mancherlei uns unbewußt bleibende Faktoren mitspielen können. So werden wahre und falsche Urteile auf ihre „Quellen", auf ihre Ursachen und Bedingungen zurückgeführt.

Indessen kann man eine Erkenntnis noch von einem anderen Gesichtspunkte als dem der Erkenntnispsychologie betrachten. Man fragt dann nicht, wie die Erkenntnis in unserer Seele erlebt wird und zustandekommt, sondern ob sie als wahr gelten darf, und welches die logischen Gründe sind, die sie zu einer wahren, gültigen, logisch berechtigten machen. Jemand hat vielleicht eine Auffassung angenommen, weil sie seinen Gefühlen schmeichelte; darum ist sie noch nicht wahr, logisch berechtigt und gültig für alle. Dazu ist anderes erforderlich. Die Erkenntnis erhält ihre logische Berechtigung etwa durch sorgfältige Beobachtungen oder durch zwingende Schlüsse aus sicheren

Prämissen. Es liegen ganz verschiedene Probleme vor, wenn einmal nach den Entstehungsgründen (Ursachen, realen Bedingungen) und ein anderes Mal nach den Rechtsgründen (logischen Gründen) der Erkenntnis gefragt wird.

Für die Erkenntnistheorie kommen nur Berechtigungsgründe, nicht aber Entstehungsgründe der Erkenntnis direkt in Betracht.

Nur die Berechtigungsgründe kommen für uns in der Erkenntnistheorie unmittelbar in Frage. Die psychologische Untersuchung des Erkennens (und seiner Entstehung) als eines seelischen Geschehens kann der Psychologie überlassen bleiben. Freilich werden zuweilen — insbesondere auch von Naturforschern — Erkenntnispsychologie und Erkenntnistheorie nicht als getrennte Disziplinen auseinandergehalten. Doch richten sich erkenntnispsychologische und (in unserem Sinne aufgefaßte) erkenntnistheoretische Untersuchungen auf so verschiedene Ziele, daß sorgfältige Scheidung wohl am Platze ist. Damit ist keineswegs gesagt, daß beide gar nichts miteinander zu tun hätten, und daß die einen den anderen keinerlei Dienste leisten können. Wir werden vielmehr sehen, daß mancherlei Berührungspunkte bestehen. Die Untersuchung der Berechtigungsgründe muß vielfach auf seelische Tatsachen hinweisen, die auch den Psychologen angehen. Sie führt auf letzte Grundlagen unseres Erkennens zurück, deren Berechtigung nicht mehr durch Beweis dargetan werden kann, die wohl als von unserer Seele anerkannte, durch einen natürlichen Glauben des gesunden Verstandes etwa gestützte aufgewiesen, aber nicht bewiesen werden können. —

Dementsprechend sind die angegebenen Aufgaben der Erkenntnistheorie zu interpretieren.

Wenn in der so von der Psychologie abgegrenzten Erkenntnistheorie vom Ursprung, der Quelle, den Elementen usw. der Erkenntnis noch gesprochen werden soll, so sind darunter nicht die Ursachen zu verstehen, die eine Erkenntnis als seelisches Erlebnis zustande kommen lassen, nicht die letzten Bestandteile (vielleicht Empfindungen u. a.), die psychologische Zergliederung in ihr aufweisen mag. Vielmehr ist von ihren logischen Voraussetzungen die Rede; diese sollen möglichst auf die letzten, „ursprünglichsten", „elementarsten" zurückgeführt werden. Der Religions-Psychologe mag untersuchen, wie ein Mensch zu dem Urteil kommt, daß ein Gott existiert, wie Überlieferung, Überlegung und Gemütsbedürfnis dabei zusammenwirken. Das ist nicht Aufgabe des Erkenntnistheoretikers; für ihn kommen nur die logischen Gründe in Betracht, auf die sich dies Urteil stützen mag — freilich nicht die Gesamtheit der Gründe, wie bald darzulegen ist. Wir können diese Gründe auf ihre letzten verborgenen logischen Voraussetzungen oder „Quellen" zurückführen, diese Voraussetzungen in ihre einfachsten Grundgedanken oder „Elemente" zerlegen, sie, soweit es möglich ist, auf ihre Wahrheit prüfen: das alles interessiert die Erkenntnistheorie eher als jene psychologische Untersuchung.

Letzte, durch Beweis nicht weiter zurückführbare Voraussetzungen unserer Wirklichkeitserkenntnis liegen z. B. in der Annahme, daß unsere Erinnerungen uns eine Vergangenheit im ganzen richtig wiedergeben, also nicht immer täuschen (was auch denkmöglich und durch Beweis nicht widerlegbar ist) und in der weiteren Annahme, daß auch in Zukunft das Weltgeschehen nach Regel und Gesetz verlaufen wird (was im strengen Sinne nie bewiesen werden kann, vgl. S. 80 f. u. 88 f.). Die Aufsuchung solcher grundlegenden Voraussetzungen durch

logische Zergliederung unseres Erkennens, insbesondere des wissenschaftlichen, ist Sache der Erkenntnistheorie. Ist sie auf die letzten Voraussetzungen zurückgegangen, so kann deren Wahrheit nicht durch Beweis noch weiter zurückgeführt werden. Sollen Voraussetzungen wie die oben genannten der Willkür entzogen werden, so müssen wir darauf hinweisen, daß sie für unsere Wirklichkeitserkenntnis, für unsere Wissenschaften, notwendig sind. Diese Erkenntnis, diese Wissenschaften vom Wirklichen aber sind so geworden, wie sie sind, weil unser gesunder Menschenverstand in unsere Erinnerungen ein natürliches Vertrauen setzt, weil er uns erwarten läßt, daß auch in Zukunft die herrschenden Regeln des Geschehens weiter gelten werden. Der gesunde Menschenverstand mit seinem natürlichen Glauben ist es zuletzt, der gewissen grundlegenden Voraussetzungen vor anderen, die ebenfalls widerspruchsfrei und denkmöglich sind, einen Vorzug gibt und sie und die auf ihnen beruhenden Erkenntnisse und Wissenschaften der Willkür entzieht. Dies ist weiter unten eingehend darzulegen. Dabei sind auch die Schwierigkeiten zu berücksichtigen, die die Berufung auf den natürlichen Glauben des gesunden Verstandes mit sich bringt; die Wissenschaft hat ja mehrfach Überzeugungen verworfen, die sich auf den gesunden Menschenverstand berufen konnten. — Die Festlegung der Voraussetzungen durch logische Zergliederung unserer natürlichen Überzeugungen fordert zunächst eine Kenntnisnahme der letzteren, wie sie im Seelenleben der Menschen tatsächlich sich vorfinden, wie sie in seinen Äußerungen sich offenbaren. Diese Kenntnisnahme darf als eine psychologische (event. völkerpsychologische) Arbeit bezeichnet werden; sofern die Erkenntnistheorie ihrer bedarf, wird Psychologisches für sie von grundlegender Bedeutung, wenngleich im übrigen Ziele und Wege der Erkenntnistheorie andere sind als die der Erkenntnispsychologie.

Wenn von der Möglichkeit der Erkenntnis bei der Bestimmung der Aufgabe unserer Disziplin gesprochen wird, so ist wiederum nicht gemeint, inwieweit bei den einzelnen Menschen, bei ihren angeborenen oder erworbenen seelischen Fähigkeiten ein Erkennen tatsächlich möglich sei; wenn vom Umfang und den Grenzen des Erkennens die Rede ist, so meint man nicht, wieviel in unsere Köpfe tatsächlich hineingehe. Es handelt sich darum, ob sich prinzipiell beweisen läßt, daß gültige Erkenntnis erreichbar ist und bis zu welchen Grenzen; oder — wenn diese Aufgabe unlösbar sein sollte — ob sich zeigen läßt, daß der Versuch des Erkennens nicht von vorneherein aussichtslos ist (wie die Skeptiker wohl gemeint haben) und in welchem Umfange er dies nicht ist. Freilich sind Grenzen unseres Erkennens durch die seelische bzw. psychophysische Konstitution bedingt, nicht nur durch die individuelle, sondern auch durch die allgemein menschliche; für die Feststellung solcher Grenzen ist also Einsicht in seelische bzw. psychophysische Verhältnisse bedeutsam. So z. B. beruht die erkenntnistheoretische Kritik der Sinneswahrnehmung zum Teil auf Ergebnissen der Psychologie und Physiologie der Sinne, wie weiter unten darzulegen bleibt.

Wenn die Erkenntnistheorie nach der Berechtigung und dem Wert

der Erkenntnis fragt, so meint sie damit nicht in erster Linie, wie hoch wir diese einschätzen, wie sehr das Erkennen direkt oder indirekt unser Gefühl erhebt, so daß es, wie Malen und Dichten, als eine berechtigte und wertvolle Tätigkeit erscheinen müsse. Vielmehr ist von der logischen Berechtigung, dem logischen Wert die Rede; es fragt sich, ob Erkenntnis vor den Maßstäben, den *Kriterien* der Wahrheit bestehen könne — wobei dann die Frage nach solchen Kriterien sich sofort aufdrängt.

Nur der logische Inhalt der Gedanken, nicht ihre seelische Verwirklichung kommt in Frage.

Weil die Erkenntnistheorie nach der Gültigkeit, den logischen Gründen und Voraussetzungen der Erkenntnis fragt, kann sie davon absehen, ob und wie die Erkenntnisse zu einer bestimmten Zeit in einer oder vielen Menschenseelen lebendig sind. Die Wahrheit des Pythagoreischen Lehrsatzes und die logische Berechtigung seiner Begründung sind ganz unabhängig davon, ob Lehrsatz und Begründung zurzeit keinem, einem oder vielen Menschen bewußt sind, und in welcher Weise das der Fall ist. Die Psychologie lehrt, daß mehrere Menschen, die dasselbe Urteil, z. B. jenen Lehrsatz, denken, dabei recht Verschiedenes innerlich erleben können. Bei dem einen liegt eine anschauliche Gesichtsvorstellung der Figur zugrunde, beim anderen Gesichts-, Gehörs- usw. Vorstellungen der Formel $a^2 + b^2 = c^2$. Bezüglich der Art und des Grades der Veranschaulichung, die „derselbe“ Gedanke in den Seelen verschiedener Menschen erfährt, bestehen große Unterschiede, und es ist strittig, ob es Gedanken gebe, die aller anschaulichen Elemente entbehren. Doch alles dies geht den Psychologen an, nicht den Erkenntnistheoretiker. Er, der nach der Gültigkeit fragt, kann ganz davon absehen, ob, wann und wie ein Gedanke, etwa jener geometrische Satz, gedacht bzw. dabei veranschaulicht wird; er betrachtet allein den *Sinn* des Satzes, den *Inhalt* des Urteils; denn nur vom *Sinn* eines Gedankens, nicht davon, ob, wann und wie er in der Seele verwirklicht ist, hängt seine *Wahrheit* ab. Der Erkenntnistheoretiker abstrahiert davon, ob, wann und wie der ins Auge gefaßte Sinn einer Erkenntnis oder Begründung im Seelenleben verwirklicht ist, weil das die Gültigkeit nicht berührt; der Erkenntnispsychologe dagegen prüft, in welcher Weise der im Seelenleben verwirklichte Gedanke sich abspielt, mag er logisch gültig sein oder nicht.

Man bezeichnet die Wahrheit als ewig oder unzeitlich, als allgemeingültig oder überindividuell. Damit kann man zum Ausdruck bringen, daß die Gültigkeit des Sinnes einer Erkenntnis von der Zeit der seelischen Verwirklichung und von der Person, in der diese sich vollzieht, ganz unabhängig ist.

Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Erkenntnistheorie gegen die Einzelwissenschaften.

Erkenntnistheorie und übrige Wissenschaften. Ist so die Erkenntnistheorie von der Erkenntnispsychologie getrennt, sofern erstere nach der logischen Berechtigung des Sinnes der Erkenntnisse, letztere nach dem wirklichen Entstehen und Geschehen beim Erkennen fragt, so ist unsere Disziplin nunmehr in Gefahr, mit *allen* Wissenschaften zusammenzufließen. Denn alle Wissenschaften suchen nach den logischen Gründen, den Voraussetzungen ihrer Urteile, den Bedingungen, unter denen letztere Anwendung finden dürfen; sie alle fragen nach der logischen Möglichkeit, der Berech-

tigung und dem Wert von Behauptungen, nach Kriterien für ihre Gültigkeit und Sicherheit usw.

Auch bemühen sich z. B. die Mathematiker, die Grenzen des in ihrer Wissenschaft Erreichbaren prinzipiell zu bestimmen. So bewies z. B. Abel streng (andere vor ihm weniger zwingend), daß die allgemeinen Gleichungen von höherem als 4. Grade nicht durch Wurzelgrößen gelöst werden können.

Für den Chemiker, Historiker usw. kommt ebenso wie für den Erkenntnistheoretiker der Sinn der Urteile und seine Gültigkeit, nicht aber die Art der seelischen Verwirklichung der chemischen, historischen usw. Einsichten in Betracht. Der Chemiker fragt, ob eine Analyse, eine Umsetzungsformel richtig sei, nicht aber, was in der Seele vorgeht bei Betrachtung derselben; das gehört wenigstens nicht zu seiner Aufgabe. —

Wenngleich die Einzelwissenschaften wie die Erkenntnistheorie nach der Gültigkeit der Erkenntnisse fragen, so dringen sie doch nicht allgemein und nicht weit genug vor in der Erforschung der logischen Voraussetzungen und in der Beurteilung der Konsequenzen, die sich dabei ergeben. Sie nehmen, zum Teil aus dem vorwissenschaftlichen Erkennen des täglichen Lebens, Voraussetzungen unbesehen oder ungenügend analysiert und geprüft auf, führen sie nicht auf ihre einfachsten, letzten, allgemeinsten logischen Gründe zurück, gehen daher auch der Frage nach der Berechtigung ihrer Erkenntnisse nicht auf den letzten Grund.

Allerdings werden die Einzelwissenschaften im Laufe ihrer Entwicklung oft zur Prüfung und Korrektur solcher Voraussetzungen genötigt, weil sie zu Schwierigkeiten Anlaß geben. Man denke an die Voraussetzungen, welche mit den Begriffen der Zeit, des Raumes, der Ursache und Wirkung, der Kraft, des Körpers, des Stoffes, des Zweckes, der Entwicklung usw. in die Naturwissenschaften aufgenommen werden. Mit dem Kraftbegriff z. B. hat sich die Physik, mit dem Zweckbegriff die Biologie in eingehender Kritik beschäftigen müssen. Dabei zeigt sich aber alsbald, wie eng solche Begriffe und Voraussetzungen zusammenhängen. Wenn man die Zulässigkeit von Zweckbetrachtungen in der Biologie prüfen will, stößt man sofort auf die Frage, ob und wie sie mit der Kausalbetrachtung vereinbar seien. Der Ursachbegriff hängt mit dem Kraftbegriff zusammen. Kausalbetrachtung und Finalbetrachtung arbeiten mit dem Zeitbegriff. Kurz, jene Begriffe und Voraussetzungen sind nur im Zusammenhange gründlich zu erforschen. Diese zusammenhängende Untersuchung solcher Begriffe und Voraussetzungen führt aber über die Grenzen der Einzelwissenschaften, z. B. der Biologie, weit hinaus. So verstehen wir, wie bei solchen Bemühungen Physiker, Chemiker und Biologen zu Erkenntnistheoretikern, zu Philosophen werden.

Da die systematische, zusammenhängende Untersuchung der betreffenden Voraussetzungen den Rahmen einer Einzelwissenschaft sprengen müßte, weisen wir sie als besondere Aufgabe der Erkenntnistheorie zu.

Diese erhält ein eigenes Arbeitsgebiet, das allerdings überall im Zusammenhang mit den anderen Wissenschaften steht, so daß z. B. Grenzprobleme zwischen Naturwissenschaft und Erkenntnistheorie recht zahlreich sind.

Um eine Abgrenzung der Erkenntnistheorie gegen die übrigen Wissenschaften festzuhalten, wird man ihr die systematische und zusammenhängende Untersuchung der allgemeinsten, letzten und daher in gewisser Hinsicht elementarsten Voraussetzungen zuweisen wollen.

Die systematische, zusammenhängende Untersuchung der letzten Voraussetzungen als Aufgabe der Erkenntnistheorie.

Sind diesen nicht die logischen Grundsätze, wie der des Widerspruchs zuzuzählen?

Erkenntnistheorie und Logik. Das Wort Voraussetzung läßt verschiedene Ausdeutungen zu. Wir haben der Erkenntnistheorie in der Einleitung die Untersuchung grundlegender Voraussetzungen und Begriffe zugewiesen. Man kann nun sagen, auch die Begriffe werden von den Wissenschaften vorausgesetzt; so z. B. der Zeitbegriff von den Naturwissenschaften. Wenn von Voraussetzungen die Rede ist, so bedürfen die vorausgesetzten Begriffe nicht besonderer Erwähnung.

Bei diesem Ergebnis können wir auch bleiben, wenn die Bezeichnung Voraussetzung enger gefaßt wird. Unter einer Voraussetzung verstehen wir zumeist einen Urteilsgedanken, der anderen logisch zugrunde liegt, von dem etwa in der Überlegung und Beweisführung ausgegangen wird. Dabei braucht man sich dieses Ausgangspunktes nicht oder nicht völlig bewußt zu sein. Die Voraussetzung kann gewiß, bewiesen, zutreffend, aber auch unsicher, ungerechtfertigt, falsch sein, und auch hierüber kann Klarheit herrschen oder fehlen. Wer nun die Voraussetzungen einer Wissenschaft untersuchen will, wird dabei die in diesen vorkommenden Begriffe genau betrachten müssen. Wer die Grundvoraussetzungen der Naturwissenschaft prüft, kann an den Begriffen des Körpers, des Naturgesetzes, der Kraft usw. nicht vorübergehen. Die Untersuchung dieser Begriffe ist mit der der Voraussetzungen gefordert und bedarf nicht besonderer Erwähnung.

Bleiben wir also bei den allgemeinen grundlegenden Voraussetzungen im Sinne von Urteilen, die von den einzelnen Wissenschaften ohne Prüfung oder unbefriedigend geprüft aufgenommen werden, so erhebt sich die oben angedeutete schwierige Frage, ob und wie deren Bearbeitung gegenüber der Logik abzugrenzen sei. Alle Wissenschaften setzen ohne weiteres voraus, daß zwei einander widersprechende Urteile nicht beide wahr sein können; ferner, daß, wenn ein erstes Objekt einem zweiten, das zweite einem dritten gleich ist, auch das erste dem dritten gleich ist, usw. Die Untersuchung solcher allgemeinster Grundsätze aber überweisen wir der Logik.

Schwierigkeiten einer Trennung von Erkenntnistheorie und Logik.

In der Tat erkennen manche Philosophen die Trennung von Erkenntnistheorie und Logik nicht an. Sie führen Gründe für die Auffassung ins Feld, daß nur von einer Wissenschaft die Rede sein darf, die dann etwa als Wissenschaftslehre, als Logik, oder vielleicht auch als Erkenntnislehre zu bezeichnen wäre.

Demgegenüber steht die Ansicht, daß Erkenntnistheorie und Logik zwar benachbarte und vielfach zusammenhängende, jedoch im Prinzip zu sondernde Disziplinen seien. Beide zusammen machen dann ein größeres Ganzes aus, das man wohl als Wissenschaftslehre bezeichnet.

Gründe für eine solche Trennung.

Die Sonderung von Erkenntnistheorie und Logik kann sich darauf stützen, daß logische Grundsätze einerseits und andererseits Voraussetzungen, welche traditionelle Probleme der Erkenntnistheorie abgeben, einen recht verschiedenen Charakter tragen. Dafür spricht schon, daß es fast gegen unser Sprachgefühl geht, die logischen Grundsätze schlechthin als Voraussetzungen zu bezeichnen. Betrachten wir etwa die Folgerungsaxiome oder Grundsätze des Schließens, z. B. das Prinzip: Jedem Subjekt kommt das Prädikat seines Prädikates zu (Erdmann). Nach diesem Prinzip können wir etwa von der Kristallform eines neuen Minerals auf seine optischen Eigenschaften schließen. Zeigt z. B. die Beobachtung bzw. Messung, daß ein Kristall (= Subjekt) nicht regulär (= Prädikat) ist, und nehmen wir hinzu, daß die nicht regulären Kristalle doppeltbrechend (= Prädikat des Prädikates) sind, so können wir die letztere Eigenschaft von unserem Kristall aussagen. Kein Naturforscher wird das genannte logische Prinzip als „Voraussetzung" dieses Ergebnisses bezeichnen. Das Prinzip gehört nicht zu den „Vordersätzen" oder „Prämissen" des Schlusses; es gibt vielmehr an, *wie* aus den Prämissen geschlossen werden kann. Man sagt wohl, es beherrsche die „Form" des Schlusses:

	S ist M	(Der Kristall ist nicht-regulär).
	M ist P	(Nicht reguläre [Kristalle] sind doppeltbrechend).
Also:	S ist P	(Der Kristall ist doppeltbrechend).

Manche Logiker sprechen deshalb von einer „formalen" Voraussetzung.

Von ganz anderem Charakter sind gewisse Voraussetzungen, die die Erkenntnistheorie zu betrachten hat. Da handelt es sich um *echte* Voraussetzungen, die als Prämissen in Schlüssen und Beweisen über einzelwissenschaftliche Gegenstände dienen. So setzen wir voraus, daß die Körper bestehen und wirken, unabhängig davon, ob ein Mensch sie wahrnimmt. Aus dieser Voraussetzung können wir schließen wie aus irgendeiner anderen Prämisse. Wir können z. B. schließen, daß ein radiumhaltiges Mineral auch dann seine Strahlen aussendet, wenn wir es nicht beobachten.

Logische Grundsätze beherrschen die Schlüsse und Beweise, sagen, *wie* zu schließen ist. Voraussetzungen, welche die Erkenntnistheorie bearbeitet, dienen als Prämissen in Schlüssen und Beweisen auf einzelwissenschaftlichem und philosophischem Gebiete. Diese verschiedene Funktion muß auf einer angebbaren Verschiedenheit des Charakters jener Grundsätze und Voraussetzungen beruhen. Man sagt wohl, jene Grundsätze seien formal, die Voraussetzungen material. Doch das sind Worte, denen erst ein genau bestimmter Sinn zu verleihen ist, Worte, von denen vielfach ein unklarer und schädlicher Gebrauch gemacht wird.

Betreffen alle von der Erkenntnistheorie zu untersuchenden Voraussetzungen das Wirkliche?

Es liegt nahe, zu sagen: die erkenntnistheoretischen Voraussetzungen betreffen das Wirkliche; da handelt es sich z. B. darum, ob eine von der Wahrnehmung unabhängige reale Außenwelt besteht, ob in der Wirklichkeit alles nach bestimmten Gesetzen geschieht usw. Die logischen Grundsätze aber sind allgemeiner; in ihnen ist von der Wirklichkeit nicht die Rede, denn sie gelten

auch für jene „Idealwissenschaften“, in denen (wie in der Arithmetik) nicht von der wirklichen Welt, sondern von einer „idealen“, rein begrifflichen Welt (der Zahlen z. B.) gehandelt wird. Dabei sehen wir davon ab, daß diese Auffassung der Arithmetik Gegner hat, die auch in ihr eine Wissenschaft vom Wirklichen sehen.

Für unsere Zwecke wäre diese einfache und klare Abgrenzung der Erkenntnistheorie recht brauchbar; denn in der Naturerkenntnistheorie handelt es sich in der Tat um Voraussetzungen, die die Wirklichkeit betreffen. Es ist allerdings fraglich, ob die gedachte Abgrenzung der herrschenden Auffassung von den Aufgaben der Erkenntnistheorie entspricht. Nach obiger Abgrenzung dürfte es keine Erkenntnistheorie der Idealwissenschaften geben; denn diese haben es nur mit rein begrifflichen Schöpfungen, wie den Zahlen, nicht mit der Wirklichkeit zu tun und enthalten darum auch keine die Wirklichkeit betreffenden Voraussetzungen (freilich sind sie ohne solche, ohne die Voraussetzung des Vertrauens zur Erinnerung — cf. S. 79f. — für uns Menschen nicht wirklich durchführbar; auch der Mathematiker kann nicht arbeiten, wenn nicht prinzipiell die Zuverlässigkeit des Gedächtnisses anzuerkennen ist). Eine Erkenntnistheorie der Arithmetik dürfte es demnach nicht geben, sondern nur eine Logik bzw. Methodenlehre dieser Wissenschaft. Das wäre eine Konsequenz, über die sich reden ließe, die jedoch der Tradition nicht recht entspricht. Es gibt letzte Urteile über Zahlen, die in mancher (wenn auch nicht jeder) Hinsicht doch eher jenen Voraussetzungen über das Wirkliche als logischen Grundsätzen (wie dem des Widerspruchs) zur Seite gestellt werden können; so z. B. der Satz: $a + b = b + a$. Die Untersuchung solcher arithmetischen „Axiome“ und die dazu gehörige Analyse des Zahl-, des Summenbegriffes usw. darf man wohl einer von der Logik zu sondernden Erkenntnistheorie der Arithmetik zuweisen.

Dann kommt der Erkenntnistheorie ein weiteres Gebiet zu; sie hat nicht nur die letzten Voraussetzungen über das Wirkliche zu behandeln, und die Frage erhebt sich von neuem, wie erkenntnistheoretische Voraussetzungen von logischen Grundätzen zu scheiden sind.

Alles, womit sich unser Denken beschäftigt, was es erfaßt und besser erfassen will, bezeichnen wir als Gegenstand des Denkens. Unter einem Gegenstande verstehen wir also hier nicht nur ein wirklich Existierendes, sei es Ding, Eigenschaft, Vorgang oder Beziehung; auch lediglich gedachte Gebilde oder Phantasieprodukte bezeichnen wir als „Objekte des Denkens“, sofern letzteres sich mit ihnen beschäftigt. In diesem weiten Sinne ist auch in der Logik und ihren Grundsätzen von „Gegenständen“ die Rede; so z. B. in der Erdmannschen Fassung des vielgeschmähten Grundsatzes der Identität: Jeder Gegenstand ist mit sich selbst identisch.

Wo aber in einem echt logischen Grundsatz von Gegenständen gesprochen wird, da geschieht es in ganz allgemeinem und leerem Sinne. Das Wort gibt sozusagen die Stelle an, wo die Objekte, welche die Einzelwissenschaften untersuchen, ihren Platz finden können. Wenn man das vieldeutige Wort Form einmal anwenden will, so kann man allenfalls sagen, es handele sich hier nur um

die leere Form des „Gegenstandes", der dann die Wissenschaften mit ihren bestimmten Objekten erst Inhalt geben.

Die erkenntnistheoretischen Voraussetzungen beziehen sich auf die besonderen Gegenstände der großen Wissenschaftsgruppen.

Viele Voraussetzungen hingegen, welche die Erkenntnistheorie der Überlieferung gemäß zu untersuchen pflegt, bleiben sozusagen einen Schritt vom Allgemeinsten entfernt. Dabei wird nicht von allen oder fast allen Unterschieden der Gegenstände abstrahiert, obgleich es sich um sehr allgemeine und weitreichende Fragen handelt. So beziehen sich gewisse erkenntnistheoretische Voraussetzungen auf die Wirklichkeit, nicht auch auf bloß gedachte oder Phantasieobjekte. Die Voraussetzung, daß überall dieselben Ursachen dieselben Wirkungen hervorrufen, gilt im Reiche des Wirklichen; sie ist bedeutungslos für die rein begrifflichen Objekte der Zahlenlehre — in der Arithmetik ist ja von Ursachen und Wirkungen gar nicht die Rede. Andererseits hat es die Erkenntnistheorie der Arithmetik mit Zahlen zu tun und nicht mit Körpern in der Außenwelt, wie die Erkenntnistheorie der Naturwissenschaft.

Während also in einem logischen Grundsatze vom Gegenstande in ganz allgemeinem und leerem Sinne die Rede sein mag, betreffen erkenntnistheoretische Voraussetzungen speziellere Denkobjekte (wie die Körperwelt, die Zahl u. dgl.), die in den einzelnen großen Wissenschaftsgruppen bearbeitet werden. Sie gehen damit auf den „Stoff" der einzelnen Wissenschaften ein und dürfen in diesem Sinne als materiale bezeichnet werden. Ihre Untersuchung ergibt Aufgaben, die gleichsam in der Mitte zwischen Problemen der Logik und der Einzelwissenschaften liegen.

Weil erkenntnistheoretische Voraussetzungen (genauer: von der Erkenntnistheorie zu untersuchende Voraussetzungen) etwas über die speziellen Gegenstände der großen Wissenschaftsgruppen sagen, können sie auch als echte Prämissen in Schlüssen über deren Objekte auftreten bzw. ungezwungen als solche aufgefaßt werden. —

Manche Probleme gehören sowohl der Erkenntnistheorie wie der Logik an.

Indessen pflegt man in der Erkenntnistheorie auch Fragen zu behandeln, an denen auch die Logik nicht vorübergehen kann. Allgemeine Erkenntnistheorie ist nicht wohl möglich ohne Untersuchung der vielumstrittenen Grundfrage: was ist Erkenntnis, was ist Wahrheit? Z. B. führt die Frage nach den Kennzeichen oder Kriterien der Wahrheit auf jene zurück. Die Logik kann die Untersuchung dieser Grundfrage auch nicht entbehren; denn die logische Auffassung des Urteils, der logischen Grundsätze u. a. hängt davon ab, was man unter Wahrheit versteht. Umgekehrt wird der Erkenntnistheoretiker bei der Untersuchung des Wesens von Erkenntnis und Wahrheit etwa auf die gewiß der Logik angehörigen Fragen nach dem Wesen des Urteils, nach der Auffassung der logischen Grundsätze und Schlußprinzipien geführt. So decken sich solche allgemeinsten Fragen der Erkenntnistheorie mit Grundfragen der Logik. Daneben gibt es aber in der Logik Aufgaben, wie z. B. die der Aufstellung der zahlreichen einzelnen Schlußformen („Figuren" und „Modi"), — welche weit abseits liegen von jenen Problemen, die die oben ins Auge gefaßten („materialen", besonderen) Voraussetzungen der großen Wissenschaftsgruppen der Erkenntnistheorie darbieten.

Wenngleich also allgemeinste Probleme der Erkenntnistheorie mit solchen der Logik zusammenfallen, so werden wir doch die spezielle Untersuchung jener „erkenntnistheoretischen" Voraussetzungen von der Logik trennen. Im bebesonderen können wir die Naturerkenntnistheorie , die die besonderen Grundvoraussetzungen des Naturerkennens behandelt, von der Logik absondern, ohne den durch allgemeine und gemeinsame Probleme der Logik und Erkenntnistheorie geschaffenen Zusammenhang aus dem Auge zu verlieren.

Wie eng dieser Zusammenhang ist, ergibt sich z. B. aus der logischen Lehre von den Induktionsschlüssen (Verallgemeinerungsschlüssen); diese ruhen auf der erkenntnistheoretischen Voraussetzung, daß die Welt und das Geschehen in ihr von Gesetzen beherrscht wird. Denn ein Schluß von einzelnen Fällen auf die ganze Klasse von Fällen, zu der jene gehören, ist nur möglich, wenn es Gesetze gibt, die alle Fälle der Klasse, die beobachteten und nicht beobachteten, gleichmäßig beherrschen.

Weitere Aufgaben der Erkenntnistheorie. Die Erkenntnistheorie untersucht die weitreichenden, grundlegenden, elementaren Voraussetzungen der großen Wissenschaftsgruppen; Voraussetzungen im Sinne von echten Prämissen, die nicht bloß von Gegenständen im allgemeinen, ohne bestimmten Inhalt, reden, sondern die die Gegenstände der besonderen Wissenschaftsgruppen betreffen, welche die wirkliche Welt, die Natur, das Reich der Zahlen usw. behandeln.

Der erkenntnistheoretische Sinn der Frage nach dem Ursprung oder der Quelle der Erkenntnis.

Wir führten bereits (S. 38) andere Aufgaben an, die man der Erkenntnistheorie zuweist. Die Frage nach dem „Ursprung" oder der „Quelle" einer Erkenntnis richtet sich, wenn sie im erkenntnistheoretischen Sinne zu verstehen ist, auf ihre logischen Gründe. Eine Erkenntnis ist entweder ohne weiteres völlig „evident", unmittelbar „denknotwendig", wie etwa logische Grundsätze, z. B. der Satz: Jeder Gegenstand ist mit sich selbst identisch; er bedarf vielleicht der Erläuterung, jedoch keiner eigentlichen logischen Begründung, und er läßt auch keine solche zu, weil der Versuch der Begründung den zu begründenden Satz schon voraussetzt. Oder die Erkenntnis ist an sich nicht ohne weiteres evident; dann fragen wir nach dem Fundament, das ihr Berechtigung verleiht. Es kann in der Erfahrung liegen. Eine Erkenntnis, die nicht aus der Erfahrung ihre logische Gültigkeit entnimmt, nennen wir *a priori*.

Wenn die Gründe einer Erkenntnis von den Einzelwissenschaften sichergestellt sind, brauchen sie von der Erkenntnistheorie nicht noch einmal untersucht zu werden. Wenn die Einzelwissenschaften gewisse letzte Gründe nicht prüfen und sichern, so dürfen diese Gründe als Voraussetzungen der Einzelwissenschaften bezeichnet und der Erkenntnistheorie zugewiesen werden. Bei der Untersuchung der Voraussetzungen wird der Erkenntnistheoretiker natürlich fragen: woher empfangen sie ihre Gültigkeit? aus der Erfahrung oder nicht? Sind sie von empirischem oder apriorischem Charakter?

Die Frage nach dem Ursprung im logischen Sinne, d. h. nach den Berechtigungsgründen der Erkenntnis, führt also, soweit sie nicht einfach die einzelnen Wissenschaften angeht, teils auf das Problem der erkenntnistheoretischen

Voraussetzungen zurück; teils gehört sie in die Logik bzw. in einen speziellen Teil dieser Wissenschaft, in die Methodenlehre. Letztere untersucht die allgemeineren Methoden des Erkennens, durch welche die Wissenschaften ihren Ergebnissen logische Berechtigung verleihen; sie prüft u. a., ob und wie dies durch Erfahrung (Beobachtung, Experiment), durch induktiven oder deduktiven Beweis, durch Rückgang auf Definitionen, Postulate, Axiome und Voraussetzungen geschieht. Dabei können erkenntnistheoretische Voraussetzungen zutage kommen, so daß auch die Methodenlehre Erkenntnistheorie und Logik in Zusammenhang bringt.

Elemente, Bedingungen, Möglichkeit, Berechtigung und Wert der Erkenntnis.

Unter Elementen der Erkenntnis im erkenntnistheoretischen Sinne darf man „elementarste", d. h. letzte und einfachste Berechtigungsgründe verstehen. Damit ist die Frage auf die nach dem „Ursprung" zurückgeführt. Selbstverständlich fordert die Untersuchung der erkenntnistheoretischen Voraussetzungen deren Zerlegung in einfachste Grundgedanken, die man als „Elemente" bezeichnen könnte.

Sofern Erkenntnisse auf erkenntnistheoretischen Voraussetzungen als ihren Fundamenten ruhen, ohne die sie nicht zu bestehen vermöchten, können diese Voraussetzungen auch Bedingungen genannt und unter dieser Bezeichnung der Erkenntnistheorie als Aufgabe zugewiesen werden. So kann man z. B. die Voraussetzung der Gesetzmäßigkeit des Naturlaufes eine Bedingung der Naturwissenschaft nennen.

Von der Möglichkeit, der Berechtigung oder dem logischen Wert der grundlegenden Voraussetzungen hängen Möglichkeit, Berechtigung und Wert des Erkennens ab. Durch erkenntnistheoretische Prüfung jener Voraussetzungen — soweit eine solche möglich ist — werden also auch Möglichkeit und Berechtigung unseres Erkennens überhaupt betroffen.

Umfang und Grenzen des Erkennens.

Zeigt sich bei kritischer Betrachtung, daß gewisse Voraussetzungen unhaltbar sind, so werden die auf ihnen ruhenden Urteile hinfällig. Dies bedeutet eine Einschränkung des Umfanges, eine Einengung der Grenzen unseres Erkennens. Wenn z. B. gewisse Voraussetzungen der vorwissenschaftlichen Weltbetrachtung durch die Erkenntnistheorie abgelehnt werden — etwa die Ansicht, daß die Empfindungsqualitäten (des Rot, Warm usw.) als solche den Körpern auch zukommen, wenn niemand sie wahrnimmt —, so fallen damit ganze Klassen von vermeintlichen Erkenntnissen — im obigen Beispiel über qualitative Besonderheiten der Körper — fort; und wenn keine neue, bessere Einsicht die zerstörte Voraussetzung ersetzt, so bleibt eine Einschränkung, eine Grenze des Erkennens. Wenn man in der Festlegung der Grenzen des Erkennens eine wichtige Aufgabe der Erkenntnistheorie sieht, so ist damit jedenfalls die Untersuchung der erkenntnistheoretischen Voraussetzungen gefordert. Wer diese Voraussetzungen in ihrer Gesamtheit übersieht und durchschaut, wird am ehesten sagen können, wie weit man damit kommen kann, und welche Probleme von ihnen aus nicht angefaßt werden können.

Kriterien der Gewißheit.

Endlich wurde die Untersuchung der Kriterien der Gewißheit von uns unter den Aufgaben erwähnt, die zuweilen der Erkenntnistheorie zuge-

wiesen werden. Gewisse allgemeinste Kriterien gehören nach unserer Auffassung in die Logik bzw. in den allgemeinsten Teil der Erkenntnistheorie, der dieser mit der Logik gemeinsam ist. Andere speziellere Kriterien sind der Methodenlehre zu entnehmen. Der Satz vom Widerspruch, die Methoden der Beobachtung und des Beweises sind zugleich Kriterien, an denen man Behauptungen und Begründungen messen kann. Schließlich aber müssen auch die „Quellen" der Erkenntnis als Kriterien für ihren Wert bedeutsam sein. Was in korrekter Weise aus den berechtigten erkenntnistheoretischen Voraussetzungen bzw. aus der Erfahrung abgeleitet ist, verdient eben darum Anerkennung. So werden solche Voraussetzungen wie die Annahme einer unverbrüchlichen Naturgesetzmäßigkeit zugleich Kriterien, an denen wir Behauptungen messen können.

In dieser Weise stehen zahlreiche von der Tradition der Erkenntnistheorie zugewiesene Fragen mit der zentralen Aufgabe einer Untersuchung der Voraussetzungen in engem Zusammenhang. Allerdings muß bemerkt werden, daß wir die Aufgaben, die oben angeführt wurden, in unserem Sinne interpretiert haben, um sie unserer Auffassung einfügen zu können. Sie sind zuweilen anders aufgefaßt worden, etwa im Sinne der Erkenntnispsychologie oder auch so, daß sie tiefer in die Logik übergreifen.

Angebliche Ungereimtheit der Aufgabe der Erkenntnistheorie. Seit Hegel sind wiederholt Angriffe gegen die Erkenntnistheorie gerichtet worden, die darauf beruhen, daß dieser Wissenschaft unmögliche Aufgaben aufgebürdet werden.

Mit Hegel wendet man etwa ein, die Erkenntnistheorie wolle das Erkennen erst untersuchen und prüfen, ehe sie erkenne. Die Prüfung des Erkennens bedeute aber selbst schon ein Erkennen. Prüfen, d. h. also erkennen zu wollen, bevor man mit dem Erkennen beginne, sei aber ebenso ungereimt, wie schwimmen lernen zu wollen, bevor man ins Wasser geht. Dieser Einwand trifft natürlich unser Vorhaben nicht, weitreichende Voraussetzungen, die unseren Erkenntnissen zugrunde liegen, zu untersuchen. Freilich hat die Untersuchung insofern ihre Grenzen, als wir bei gewissen letzten Prämissen (die aus der Erfahrung nicht logisch streng abgeleitet werden können) stehen bleiben müssen; ihr Beweis müßte sich wiederum auf andere vorausgesetzte Erkenntnisse stützen, und mit der Forderung, die Voraussetzungen zu beweisen, käme man also nie zu einem Ende. Aus dem reinen Nichts heraus, ohne Prämissen, kann man nichts beweisen. Wir müssen also bei gewissen letzten Prämissen uns darauf beschränken, sie festzulegen und zu klären, ohne sie beweisen und weiter zurückführen zu wollen. Immerhin können wir in der Erkenntnistheorie manche Voraussetzungen, die unbesehen und stillschweigend von den Einzelwissenschaften aufgenommen werden, weiter zurückführen, bis wir auf letzte, elementarste Prämissen kommen. Hegels Einwand.

Den Satz: Es gibt Erkenntnis, kann man dem absoluten Skeptiker, der jede Erkenntnis in Frage stellt, nicht beweisen. Denn jeder Beweis müßte von mindestens einer Erkenntnis als Prämisse ausgehen, und diese würde der Skeptiker wieder in Frage stellen. Ohne Voraussetzung, aus dem reinen Nichts heraus, gibt es keine Beweise, auch nicht für die Existenz oder Möglichkeit Der radikale Skeptizismus.

von Erkenntnissen. Wer also von der Erkenntnistheorie fordert, sie solle, ohne gewisse Erkenntnisse zugrunde zu legen, die Möglichkeit des Erkennens beweisen, fordert Unmögliches.

Man versucht dem radikalen Skeptizismus beizukommen, indem man ihn auf einen Widerspruch führt. Wenn der Skeptiker sagt: Es gibt keine Erkenntnis, so will dies Urteil selbst richtig sein, also doch eine Erkenntnis darstellen. Doch darf man nicht argumentieren: der Satz, es gibt keine Erkenntnis, enthält einen Widerspruch; also gibt es Erkenntnis. Der Satz: es gibt keine Erkenntnis, ist ebenso widerspruchsfrei wie der Satz: es gibt Erkenntnis. Der Widerspruch kommt zustande, weil das seinem Inhalt nach widerspruchslose Urteil: es gibt keine Erkenntnis, doch eine Erkenntnis sein soll. Nicht im Inhalt des Urteils steckt der Widerspruch, sondern dieser widerspruchsfreie Inhalt des Urteils widerspricht dem Anspruch des gleichen Urteils, eine Erkenntnis zu sein. Man kann aus diesem Widerspruch nicht ableiten, daß es Erkenntnis gebe, sondern man darf nur sagen: wenn der Inhalt jenes Urteils zu Recht besteht, so können wir dies unmöglich erkennen; wir können das Urteil also auch nicht als Erkenntnis aussprechen. Nelson formuliert dies in den Worten: „Wer zu wissen behauptet, daß er nichts wisse, widerspricht sich allerdings; aber hieraus läßt sich nicht schließen, daß er irgend etwas wisse, sondern nur, daß er dieses, was er zu wissen vorgibt, nicht wisse." Entweder der Sprechende weiß nichts, auch nicht, daß er nichts weiß, oder er weiß etwas; dann weiß er nicht, daß er nichts weiß; denn diese letzte Ansicht wäre falsch, also kein Wissen.

Übrigens würde sich der radikale Skeptiker dagegen wenden, wenn aus einem Widerspruch, in den er sich verwickelt, etwas abgeleitet werden soll. Er würde sagen können: mag ein Widerspruch vorhanden sein, das berührt mich nicht; denn logische Grundsätze bezüglich des Widerspruchs erkenne ich nicht an.

Solche nicht sehr ergiebigen Überlegungen können nur zeigen, daß man, ohne irgendwelche Erkenntnis als solche gelten zu lassen, die Existenz oder Möglichkeit der Erkenntnis nicht beweisen kann. Aus dieser Schwierigkeit helfen jene Erkenntnisse heraus, die sich selbst sofort als solche legitimieren, indem sie ohne Beweis unmittelbar „evident" und „denknotwendig" sind. Hierher gehört z. B. der logische Grundsatz: jeder Gegenstand ist mit sich selbst identisch. Aber selbst das schlichte Urteil: schwarz und weiß sind verschieden, ist für den, der die beiden Farben sieht und den Sinn des Wortes „verschieden" kennt, völlig evident (ebenso andere unmittelbar gewisse Urteile über „Gegebenes"; vgl. u. S. 75, 77). Solchen evidenten Urteilen gegenüber, deren Wahrheit man unmittelbar erfaßt, muß der absolute Skeptizismus weichen. Im Hinblick auf sie bedürfen wir keines weiteren Beweises, daß es überhaupt Erkenntnis gibt. Hätte die Erkenntnistheorie die Aufgabe, unabhängig vom unmittelbar Evidenten diesen Beweis zu liefern, so wäre sie nicht nur unmöglich, sondern auch ziemlich überflüssig.

Es gibt unmittelbar evidente und denknotwendige Erkenntnisse.

Dagegen ist es eine sinnvolle und bedeutsame Aufgabe der Erkenntnistheorie, Einwände zu entkräften, die sich mehr im Besonderen gegen bestimmte Erkenntnisweisen und Erkenntnisgebiete wenden, indem sie etwa deren Vor-

aussetzungen angreifen. Man hat die Möglichkeit bestritten, eine Außenwelt, eine Welt von „Dingen an sich“ zu erkennen, die nicht in unserem Bewußtsein, sondern unabhängig von ihm bestehen. Auf Grund bestimmter, als unumgänglich zu erweisender Voraussetzungen kann die Erkenntnistheorie die Möglichkeit eines Erkennens der Dinge an sich verteidigen.

Die Bezeichnung „Erkenntnistheorie“. Die Bezeichnung Erkenntnistheorie für eine Wissenschaft von den grundlegenden Voraussetzungen, welche die Objekte der großen Wissensgebiete betreffen, erscheint zunächst wenig geeignet. Doch rechtfertigt sie sich schon einigermaßen aus dem, was wir dargelegt haben. Die erkenntnistheoretischen Voraussetzungen liegen den einzelwissenschaftlichen Erkenntnissen zugrunde, ermöglichen und begrenzen sie. Aus der einzelwissenschaftlichen Erkenntnis sind sie herauszuheben. Überdies betreffen sie vielfach direkt unsere Erkenntnisvermögen (wenn das oft verpönte Wort hier einmal Anwendung finden darf), z. B. das der Sinnes- oder der Erinnerungserkenntnis, indem sie etwa sagen, inwieweit Sinneswahrnehmung und Erinnerung die Gegenstände großer Wissenschaftsgruppen, z. B. die Körper oder die vergangenen Erlebnisse, richtig wiedergeben.

Will man die auch der Logik zukommende Behandlung allgemeinster Grundfragen (wie die nach dem Wesen der Wahrheit), auf welche die Untersuchung jener Voraussetzungen zuletzt hinführt, der Logik überlassen, so mag man von einer speziellen Erkenntnistheorie sprechen.

Erkenntnistheorie und Naturerkenntnistheorie. Die Naturerkenntnistheorie ist der das wissenschaftliche Naturerkennen betreffende Teil der Erkenntnistheorie.

Manche erkenntnistheoretische Voraussetzungen liegen sowohl dem Naturerkennen wie anderen Wissensgebieten zugrunde. Sie können in der Naturerkenntnistheorie nicht außer acht gelassen werden; sie hängen eng zusammen mit Voraussetzungen, welche ganz speziell für die Erkenntnis der Natur, der Körperwelt in Betracht kommen. So hängt z. B. die Voraussetzung kausaler Gesetzmäßigkeit des Weltgeschehens, die für alle Realwissenschaften (z. B. auch für die Psychologie, die Soziologie usw.) von grundlegender Bedeutung ist, mit der Voraussetzung der Existenz einer erkennbaren Körperwelt zusammen, die im besonderen für das Naturerkennen in Betracht kommt, dagegen für andere Realwissenschaften (Geisteswissenschaften) von mehr sekundärer Bedeutung ist.

Aus dieser Sachlage wird sich die Notwendigkeit ergeben, von allgemeinen, nicht nur das Naturerkennen betreffenden Voraussetzungen auszugehen, die den speziell das letztere betreffenden Prinzipien zum Teil als Grundlagen dienen. Wenn so unsere Betrachtungen nicht von vornherein ausschließlich naturerkenntnistheoretischen Charakter tragen werden, so müssen sie doch sofort auf die besonderen Aufgaben der Naturerkenntnistheorie hinzielen, und jedenfalls ist letzteren schließlich eine eingehende Untersuchung zu widmen.

Im übrigen muß sich der Forschungsweg des Naturerkenntnistheoretikers nach den Methoden richten, die die Erkenntnistheorie überhaupt zu ihren Zielen führen sollen.

METHODE DER ERKENNTNISTHEORIE.

Die Uneinigkeit bezüglich der Aufgabe der Erkenntnistheorie bringt einen lebhaften Kampf um die Methoden, die Wege, mit sich, die zum Ziele führen sollen. Besonders machen sich die Schwierigkeiten der Abgrenzung gegen die Psychologie hier geltend. Ist die Methode der Erkenntnistheorie eine psychologische oder nicht? Die Gegner der psychologischen Methode bezeichnen die ihrige oft als die transzendentale oder transzendental-logische; leider wird dies Wort, das seit seiner Aufnahme in die Scholastik einen ganz erheblichen Bedeutungswandel erfahren hat, auch in der Gegenwart in verschiedenem Sinne angewandt.

Unsere Stellungnahme in dieser Streitfrage leitet sich aus unserer Aufgabenbestimmung ab.

Die Feststellung der Voraussetzungen. Zunächst gilt es, die weitreichenden Voraussetzungen, welche die Gegenstände der großen Wissenschaftsgruppen betreffen, festzustellen.

Die Feststellung der Voraussetzungen geht von psychologischen Daten aus, erfordert jedoch logische Analyse.

Da die Voraussetzungen zum Teil aus der nicht-wissenschaftlichen Weltauffassung des täglichen Lebens stammen, ist es wichtig, sich auf letztere zu besinnen. Die Feststellung dieser Weltauffassung kann nur durch Beobachtung eigenen und fremden Seelenlebens bzw. seiner Produkte (Willenshandlungen, Schriftstücke) geschehen. Solche Beobachtung würde in die Psychologie bzw. in die Völkerpsychologie gehören. Jedoch um herauszufinden, was in der Weltanschauung des täglichen Lebens ohne logisch genügende Begründung vorausgesetzt ist bzw. als halb oder nicht bewußte Voraussetzung hinter der Weltanschauung steckt, ist deren logische Zergliederung erforderlich.

So finden wir schon hier, daß die Erkenntnistheorie zwar psychologische Vorarbeit brauchen kann, dagegen mit psychologischen Methoden nicht auskommt, sondern im entscheidenden Punkte ein anderes, ein logisch zergliederndes Verfahren einschlagen muß.

Das eigentliche Objekt der Erkenntnistheorie geben nicht die Voraussetzungen des vorwissenschaftlichen, sondern die des wissenschaftlichen Erkennens ab, die nur teilweise mit jenen identisch sind. Es gilt also, diese aus den einzelnen Wissenschaften herauszuheben. Die in der Erfahrung gegebenen Wissenschaften bilden demnach das Ausgangsmaterial der Erkenntnistheorie. Dieses ist mithin empirisch. (Damit ist nicht gesagt, daß die Voraussetzungen selbst, welche unsere Disziplin zutage fördert, empirisch sind, d. h., daß ihre logische Gültigkeit auf Erfahrungen beruht.) Da die Wissenschaften Produkte des Seelenlebens menschlicher Gemeinschaften sind, kann die Betrachtung, die

erstere als vorgefundene Tatsachen ins Auge faßt, der Völker- oder Sozialpsychologie zugewiesen werden. Das Herausheben der Voraussetzungen geht aber über die psychologisch-analytische bzw. psychologisch-genetische Bearbeitung dieses empirischen Tatsachenmaterials hinaus; denn es handelt sich darum, festzustellen, was logisch als Voraussetzung zugrunde liegt, ohne viel Rücksicht darauf, ob diese jemals eine Rolle im Seelenleben der Forscher gespielt hat oder nicht. Es kommt nur mittelbar in Betracht, welche Rolle bei der Entstehung und in der Geschichte der Wissenschaft, im Geiste und in den Werken der Forscher, die Voraussetzungen gespielt haben; entscheidend ist aber, welche logische Bedeutung als Berechtigungsgrundlagen der Wissenschaften ihnen zukommt. Auch hier streift die Methode der Erkenntnistheorie den psychologischen Charakter des Ausgangsmaterials alsbald ab, wenn die erste spezifisch erkenntnistheoretische Arbeit, das Herausheben der Voraussetzungen, beginnt.

Jedoch ist ohne weiteres klar, daß die Psychologie und Geschichte der Forschung (auf die Wundt so viel Gewicht legt) überaus wichtige Hilfe beim Herausheben der Voraussetzungen leisten können. Denn eine Fülle von Voraussetzungen kommt im Laufe der historischen Entwicklung den Vertretern der einzelnen Wissenschaften zum Bewußtsein, wird in ihren Werken festgelegt und kann so vom Erkenntnistheoretiker übernommen werden.

Um die Voraussetzungen in wissenschaftlicher Vollständigkeit und systematischer Ordnung zu erhalten, gilt es, das Ausgangsmaterial, die Wissenschaften, in ein System zu bringen. So darf man das Problem der Einteilung der Wissenschaften der Erkenntnistheorie zuweisen. Allerdings kann auch um diese Zuweisung Streit entstehen; andere Wissenschaften, etwa die Methodenlehre, können Ansprüche auf die gleiche Aufgabe geltend machen. Doch sehen wir von solchen Schwierigkeiten hier ab. Für die Naturphilosophie kommen die Voraussetzungen des Naturerkennens in Betracht; die Einteilung des ganzen Gebietes wissenschaftlicher Erkenntnis zur Bestimmung aller erkenntnistheoretischen Voraussetzungen dürfen wir daher beiseite lassen.

Wenn wir uns auf das Gebiet der Naturerkenntnis beschränken, so erscheint folgende Methode als der gewiesene Weg. Man durchschreite die einzelnen Teilgebiete der Naturerkenntnis in systematischer Folge, indem man überall die Voraussetzungen sammelt. Hierbei wäre besonders in den grundlegenden Naturwissenschaften sorgfältige Durchforschung nach Voraussetzungen am Platze, z. B. in der Physik; speziellere bezw. angewandte Disziplinen, z. B. die Meteorologie oder die Elektrotechnik übernehmen implizite die Voraussetzungen der allgemeineren, grundlegenden Wissenschaften, und was sie an eigenen Voraussetzungen vielleicht noch hinzufügen mögen, dürfte derart speziellen Charakter tragen, daß es für unsere Zwecke außer Betracht bleiben muß.

Beim Entwurf des Bildes der Gesamtnatur, das unsere Naturphilosophie anstrebt, werden wir versuchen, die Voraussetzungen der einzelnen Gebiete hervorzuheben. Es wurde schon ausgeführt, weshalb es unangebracht wäre, die erkenntnistheoretische Arbeit ganz vorwegzunehmen und erst dann an das Naturbild heranzutreten. Zwischen ungeprüften, umfassenden Voraussetzungen

Es gibt speziellere Voraussetzungen, deren Bearbeitung in die Einzelgebiete der Naturerkenntnis führt.

und von den Einzelwissenschaften sorgfältig erwogenen Einzelergebnissen liegen mehr oder weniger geprüfte Annahmen, die beträchtliche Gebiete des Naturerkennens betreffen. Sie können nur bei besonderer Einsicht in jene Gebiete recht gewürdigt werden. Ihre Bearbeitung gehört in ein Grenzgebiet zwischen Naturwissenschaft und Naturerkenntnistheorie. Die letztere ist nicht zu entbehren, weil diese spezielleren, von der Naturwissenschaft selbst bereits mehr oder weniger bearbeiteten Voraussetzungen doch nicht endgültig untersucht werden können ohne Rekurs auf allgemeinere erkenntnistheoretische Voraussetzungen. Man denke an den Begriff der Naturzweckmäßigkeit und die daran anknüpfenden Probleme der Biologie. Zu ihrer Untersuchung sind die biologischen Gesichtspunkte gewiß von entscheidender Bedeutung. Doch wird kein Einsichtiger leugnen, daß zur gründlichen Bearbeitung dieser Probleme auf allgemeinere erkenntnistheoretische Fragen zurückgegriffen werden muß, etwa auf das Kausalproblem. Diesen Rekurs haben übrigens die Biologen selbst in verschiedener Weise unternommen, damit sind sie zur Naturphilosophie übergegangen. Hier müssen in der Tat Naturwissenschaft und Erkenntnistheorie in gemeinsamer Arbeit sich vereinen.

Die erkenntnistheoretische Durchforschung der Einzelgebiete der Naturerkenntnis, die von unserer Aufgabestellung aus zu fordern ist, verbinden wir also mit der Zeichnung des Naturbildes. Die allgemeineren Voraussetzungen, auf die solche erkenntnistheoretische Detailarbeit zurückweist und aufbaut, müssen und können bereits vorher erledigt werden. Sie betreffen nur die sehr allgemeinen und weitreichenden Begriffe des Naturerkennens, die großen, durchgehenden Linien des Naturbildes; man denke z. B. an die Voraussetzung durchgreifender Naturgesetzmäßigkeit.

Wer jene spezielleren Voraussetzungen aufsuchen und würdigen will, muß in den betreffenden Gebieten des Naturerkennens bewandert sein. Freilich ist das Detailwissen des Spezialforschers auch hier für den Erkenntnistheoretiker im ganzen unerreichbar, aber auch nicht unentbehrlich; denn die Voraussetzungen, die den Erkenntnistheoretiker interessieren, müssen immerhin relativ weitgreifend sein, sie treten daher nicht erst bei den ganz speziellen Detailarbeiten zutage. Allerdings sind sie für letztere nicht bedeutungslos, und so wird die erkenntnistheoretische Untersuchung und Würdigung gewiß aus reichem Detailwissen Nutzen ziehen. Eine „Würdigung" von Voraussetzungen, deren Bedeutung für die wissenschaftliche Arbeit man nicht versteht, weil man letzterer ganz fernsteht, ist jedenfalls ein Unding.

Die hier zu untersuchenden allgemeineren Voraussetzungen der gesamten Naturerkenntnis sind leichter aufzufinden.

Was jedoch die allgemeineren Voraussetzungen angeht, die zuletzt alle Naturerkenntnis betreffen, so treten sie in ihrer grundlegenden Bedeutung ziemlich leicht hervor, sodaß sie vorweg behandelt werden können, ohne daß vorheriges Durchstreifen der gesamten Naturerkenntnis notwendig wäre. Die allgemein verbreitete Kenntnis naturwissenschaftlicher Anschauungen genügt, um z. B. die grundlegende Bedeutung der Voraussetzung allgemeiner Naturgesetzmäßigkeit einsehen zu können. Indem die Naturwissenschaft die Körperwelt als ihren Gegenstand betrachtet, setzt sie voraus, daß es Körper gibt.

Unter Körpern versteht sie aber wirkliche, räumliche, relativ selbständige Objekte, die unabhängig von unserer Wahrnehmung bestehen und wirken. Damit sind mehrere Voraussetzungen gegeben oder nahegelegt, die also bereits aus der Aufgabebestimmung der Naturwissenschaft sich ergeben. Zudem hängen, wie schon angedeutet wurde und sich fernerhin zeigen wird, die Voraussetzungen untereinander derart zusammen, daß die eine auf die andere hinweist.

So werden die wichtigsten allgemeineren Voraussetzungen leicht zu finden sein. Die spätere, speziellere Durchstreifung des Gesamtgebietes der Naturerkenntnis könnte dann als Kontrolle dienen, ob an allgemeinen Voraussetzungen nichts Wesentliches übersehen worden ist.

Nun erhebt sich die Frage: wie findet man bei Durchstreifung eines Erkenntnisgebietes die Voraussetzungen? Diese kommen oft nicht zum Bewußtsein, bleiben vielfach unausgesprochen; ja sie werden selbst mit Geschick, wenn auch ohne klar bewußte Absicht verhüllt, weil sie ja eigentlich Lücken in der Begründung bezeichnen.

Verborgene Voraussetzungen findet man, indem man die Beweise prüft. Diese entsprechen nun in der Gestalt, wie sie in den wissenschaftlichen Werken zu finden sind, vielfach nicht den Beweisformen, die die Logik vorschreibt; es werden in den Schlüssen logisch unentbehrliche Prämissen nicht ausgesprochen, weil sie „selbstverständlich" sind.

Man hätte demnach zunächst die unausgesprochenen Prämissen der Schlüsse zu bestimmen. Sind dann Schlüsse und Beweise in eine strenge, logisch vollständige Form gebracht, so sind alle Prämissen zu untersuchen, ob sie genügend begründet oder ungenügend geprüft und vorausgesetzt sind. Die Gründe der begründeten Prämissen wären entsprechend zu untersuchen.

Es ist zuweilen schwierig, nicht ausgesprochene Prämissen zu bestimmen, auch wenn man die Lücke im Schlußverfahren, die sie füllen sollen, gefunden hat. Man mag sich vorstellen, dies sei durch Vergleich mit den logisch vollständigen Schlußformen geschehen. Zuweilen bieten sich dann mehrere verschiedene Prämissen zur Ausfüllung der Lücke an. Wenn z. B. der abgekürzte Schluß lautet: $a = b$, also $a = d$, so können die Prämissen: $b = c$, $c = d$ fehlen; doch kämen wir zu dem gleichen Ergebnis durch Einschiebung der anderen Prämissen: $b = c^2$, $c^2 = d$. Dies einfache Beispiel zeigt, daß die Bestimmung der Prämissen nicht zu einem eindeutigen Ergebnis zu führen braucht. Dann sind die verschiedenen, zur Füllung der Schlußlücken an sich gleichfähigen Prämissen an anderen Gesichtspunkten zu prüfen. Das kann einfach, aber auch recht schwierig sein und Anlaß zu einschneidenden Meinungskämpfen über letzte Probleme geben.

Glücklicherweise brauchen wir bei unseren erkenntnistheoretischen Untersuchungen nicht so schematisch vorzugehen. Das intellektuelle Gewissen wird unruhig an den Stellen, die die ungeprüften Voraussetzungen verbergen. Sie sind aus naheliegenden Gründen nicht selten durch langdauernde und vielfach unausgetragene Kämpfe markiert. Die wichtigen weitreichenden Voraussetzungen des Naturerkennens, denen wir uns alsbald zuwenden werden, sind

in der Entwicklung der Erkenntnistheorie und der Naturwissenschaften bereits festgelegt und vielfach untersucht worden.

Die Untersuchung der Voraussetzungen. Die ältere Erkenntnistheorie, insbesondere die des englischen Empirismus, die in weitem Umfange Erkenntnispsychologie war, untersuchte, wie die wichtigen erkenntnistheoretischen Voraussetzungen im Seelenleben zustande kommen; dieser Frage — freilich nicht ihr allein — galten einflußreiche Untersuchungen Humes über das Ursache-Wirkungs-Problem.

Bedeutung der Erkenntnispsychologie für die Erkenntnistheorie.

Wir sondern die Erkenntnispsychologie von der Erkenntnistheorie, die nach dem logischen Charakter und der logischen Berechtigung der Voraussetzungen fragt. Dabei wollen wir jener genetisch-psychologischen Untersuchung keineswegs alle Bedeutung für die Erkenntnistheorie abstreiten. Die psychologischen Ursachen, die eine Voraussetzung zustande kommen bzw. wirksam werden ließen, können zum Teil echte logische Gründe darstellen. Nur sind diese vielleicht nicht zur vollen Klarheit gelangt oder im Bewußtsein zurückgetreten, so daß nachher die Voraussetzungen der Begründung zu ermangeln scheinen.

Betrachten wir einmal die bedeutsame Voraussetzung, daß es eine von unserer Sinneswahrnehmung unabhängige Körperwelt gebe! Die psycho-genetische Untersuchung würde zeigen, wie wir zu dieser Annahme kommen. Den Ausgangspunkt gibt offenbar die Sinneswahrnehmung ab. Die Feststellung bestimmter psychologischer (phänomenologischer) Tatsachen, nämlich gewisser Grundeigenschaften der Körperwahrnehmungen, ist aber nicht nur für die psychogenetische Untersuchung jener Voraussetzung wichtig, sondern auch für ihre erkenntnistheoretische Prüfung unentbehrlich. Wer die Annahme einer von der Wahrnehmung unabhängigen Körperwelt (mag sie zulässig sein oder nicht) zu rechtfertigen versucht, muß ausgehen von psychologischen (phänomenologischen) Daten; er muß betonen, daß es gewisse Empfindungskomplexe mit räumlichen Eigenschaften gibt — als solche Komplexe bieten sich die Körper in der Sinneswahrnehmung dar —, die unserem Bewußtsein sich aufdrängen, eine Weile in ihm beharren, unter gewissen Umständen sich erneuern können usw. Die psychogenetische und die erkenntnistheoretische Untersuchung jener Voraussetzung gehen auf dieselben Erfahrungen, auf die gleichen Bewußtseinstatsachen zurück.

Ferner hat die Psychologie für die Kritik der Voraussetzungen große Bedeutung. Indem sie zeigt, wie gewisse vermeintliche Erkenntnisse zustande kommen, wie dabei von logischen Gründen gar nicht die Rede sein kann, zerstört sie das naive Vertrauen. Das vorwissenschaftliche und das beginnende wissenschaftliche Denken setzen etwa voraus, daß unsere Sinneswahrnehmungen im wesentlichen die Dinge so wiedergeben, wie sie unabhängig von uns wirklich sind. Die physiologische Psychologie der Sinneswahrnehmung muß sehr bald dies naive Vertrauen auf die Sinneserkenntnis erschüttern, indem sie zeigt, daß eine einfache treue Abbildung der Außendinge und ihrer Eigenschaften durch die Sinneswahrnehmung nicht anzunehmen ist. So sind derartige psychologische

(bzw. physiologisch-psychologische) Überlegungen für die Erkenntnistheorie bedeutsam, nicht sowohl dadurch, daß sie letzten Voraussetzungen unseres Erkennens logische Berechtigung sichern, als dadurch, daß sie die Unzulänglichkeit mancher Voraussetzungen vom Standpunkte der einzelwissenschaftlichen Erkenntnis aus eindringlich dartun. —

Die Erkenntnistheorie fragt nach dem logischen Zusammenhang, dem logischen Charakter und der logischen Rechtfertigung der Voraussetzungen.

Wir fragen in der Erkenntnistheorie nach dem logischen Zusammenhang, dem logischen Charakter und der logischen Rechtfertigung der Voraussetzungen; diese drei Fragen hängen aufs engste zusammen. Die Untersuchung gipfelt in der dritten Frage. Denn es muß sicherlich unsere Hauptaufgabe sein, die unentbehrlichen, aber ungeprüften Voraussetzungen in den Einzelwissenschaften zu legitimieren, so gut es geht.

Die aufzufindenden Voraussetzungen sind nicht alle unabhängig voneinander. So hängt die Annahme einer von unserer Wahrnehmung unabhängigen Außenwelt mit der einer Gesetzmäßigkeit des ganzen Weltgeschehens zusammen; wie wir sehen werden, kann sich die eine auf die andere stützen. Es gibt also Unterschiede der Ursprünglichkeit unter den erkenntnistheoretischen Voraussetzungen. Indem die Erkenntnistheorie die Voraussetzungen auf die letzten, ursprünglichsten zurückführt, beginnt sie bereits mit der Aufgabe der Rechtfertigung.

Die Einteilung in ursprüngliche und auf diesen ruhende, ableitbare Voraussetzungen gehört schon zur Feststellung des logischen Charakters derselben. Der Charakter der ursprünglichen, letzten Voraussetzungen muß bestimmt werden, wenn eine Rechtfertigung derselben unternommen werden soll. Ja, Charakterbestimmung und Rechtfertigung sind zum Teil miteinander gegeben. Wenn nämlich die Wahrheit einer Voraussetzung unmittelbar evident, wenn sie ohne weiteres logisch denknotwendig gewiß ist, so ist mit einer solchen Charakterisierung auch die Rechtfertigung der Voraussetzung gegeben. Denn über die unmittelbare Evidenz und die denknotwendige Gewißheit, wie sie etwa die fundamentalsten logischen Grundsätze (Prinzip der Identität usw.) charakterisiert, können wir nicht hinausgelangen. Hier ist weitere Beweisführung undenkbar; denn jeder Versuch einer solchen ruht auf logischen Grundsätzen und kann daher nicht etwa noch denknotwendiger sein als diese selbst. (Damit ist eine Rechtfertigung durch Klärung der einschlägigen Begriffe usw., die die Evidenz erst recht hervortreten läßt, natürlich nicht ausgeschlossen.) Wahre Evidenz, echte denknotwendige Gewißheit läßt keine Steigerung in logischer Hinsicht zu und bedarf ihrer nicht, da solche Gewißheit vollständig ist.

Doch die Naturerkenntnistheorie stößt auf Voraussetzungen, die diesen Charakter unmittelbarer Evidenz nicht tragen, noch mittelbar durch Beweis denknotwendig sind. Was (unmittelbar oder mittelbar) denknotwendig ist (z. B. der Satz: Sind zwei Größen einer dritten gleich, so sind sie auch untereinander gleich), bedarf keiner Rechtfertigung durch Erfahrung, gilt „*a priori*", d. h. unabhängig von solcher Rechtfertigung. Wenn es sich aber um Voraussetzungen ohne denknotwendige Gewißheit handelt, so erhebt sich die Frage:

Nehmen sie ihre logische Berechtigung aus der Erfahrung oder nicht? Sind sie als empirisch oder als apriorisch zu charakterisieren?

Rechtfertigung nicht-evidenter, letzter apriorischer Voraussetzungen durch die Erkenntnisnotwendigkeit und den gesunden Menschenverstand.

Gibt es aber nicht-evidente letzte, also durch Beweis nicht weiter zurückführbare Voraussetzungen, deren Gültigkeit nicht (vollständig) aus der Erfahrung ableitbar ist, die also (ganz oder teilweise) „a priori" sind, was verbürgt dann ihre Geltung? Was gibt ihnen Berechtigung? Da stoßen wir auf eine Kardinalfrage der Erkenntnistheorie, die Kant mit Recht stark hervorhob. Man kann zunächst solche letzten, nicht unmittelbar evidenten und doch nicht (oder nicht rein) empirischen Voraussetzungen daraufhin prüfen, ob sie widerspruchsfrei in sich und gegenüber anderen Erkenntnissen sind. Damit ist aber eine positive Rechtfertigung noch nicht gegeben. Und doch dürfen die Voraussetzungen nicht willkürlich, nicht aus der Luft gegriffen sein. Sie müssen eine Legitimation erhalten, die sie der Willkür entzieht. Eine solche ist, abgesehen von ihrer Bewährung, nur in ihrer Unentbehrlichkeit für das Erkennen und zuletzt im natürlichen Glauben und Vertrauen des gesunden Verstandes zu finden. Diese Voraussetzungen sind zwar nicht evident oder denknotwendig, aber sie sind wissens- oder erkenntnisnotwendig, d. h. ohne sie sind große Erkenntnisgebiete unmöglich, auf die sie sich beziehen, und die der gesunde Menschenverstand nicht preisgibt. Mit dieser Berufung auf die tatsächlich existierenden Erkenntnisse und auf den natürlichen Glauben des gesunden Menschenverstandes wendet sich die Erkenntnistheorie wieder zum realen Seelenleben und seinen Erzeugnissen hin; hier wird Psychologisches für sie von fundamentaler Bedeutung.

Die Voraussetzung strenger Gesetzmäßigkeit z. B. ist erforderlich für die volle Erklärbarkeit der Natur, für die Möglichkeit eines durchgehenden Verständnisses derselben. Solche Voraussetzungen der Naturerkenntnis sind unentbehrlich, sind notwendig, wenn wir mutig daran gehen wollen, die ganze Natur zu erkennen und zu erklären. Wer sie nicht wagt, verhält sich in der Tat wie ein Mensch, der nicht ins Wasser zu gehen wagt und darum nicht schwimmen lernt. Da die Voraussetzungen übrigens zum Teil (nicht in vollem Umfange und in gleich scharfer Fassung) auch für die unentbehrliche praktische Erkenntnis im Leben notwendig sind, kommen wir zu ihrer Anwendung und zur Bewährung im Erkennen, sozusagen wie der Hund zum Schwimmen kommt, den man ins Wasser wirft: das Leben zwingt uns, sie anzuwenden, ohne daß sie uns vorher zum Bewußtsein kommen und ohne daß erst nach ihrem logischen Recht gefragt wird. Der Erfolg bei der vertrauensvollen Anwendung der Voraussetzungen bestärkt dies Vertrauen ungemein, ohne das Vorausgesetzte jemals streng logisch völlig rechtfertigen zu können. Beispiele werden alles dies weiter unten verdeutlichen.

Freilich, unser logisches Gewissen bleibt beunruhigt gegenüber diesem Recht der Not und des Erfolges, gegenüber der Berufung auf das psychologische Faktum eines natürlichen Glaubens des gesunden Verstandes, auf das völkerpsychologische Faktum der von solchem Glauben getragenen Wissenschaft; und so wird es verständlich, daß man andere Rechtfertigungen versucht hat.

Kant ist in dieser Hinsicht vorangegangen mit seiner Beantwortung der Frage nach der Möglichkeit „synthetischer" Urteile *a priori*. Synthetisch heißen nach Kant Urteile, deren Prädikat nicht bereits im Subjektbegriffe enthalten ist; ist letzteres der Fall, so heißt das Urteil analytisch. So ist z. B. das Urteil: Alle Körper sind ausgedehnt, nach Kant analytisch, weil im Körperbegriff das Merkmal der Ausdehnung steckt und durch Begriffsanalyse herausgeholt werden kann. Die analytischen Urteile sind insgesamt *a priori*, d. h. unabhängig von der Erfahrung gültig; denn wenn ein Merkmal zum Begriffe des Subjektes gehört, so kann ersteres auch von dem Subjekt ausgesagt werden, ohne daß man erst die Erfahrung befragen müßte; — möglicherweise ist dann in der Erfahrung nichts zu finden, auf das jener Begriff mit seinem Merkmal anwendbar ist. Liegt der Begriff des Flügelrosses vor, so können wir unabhängig von aller Erfahrung sagen, daß das Flügelroß geflügelt sei. Dies Urteil ist wahr, wenngleich kein Flügelroß wirklich existiert; dadurch verliert das Urteil allerdings an Bedeutung.

Kants Frage nach der Möglichkeit synthetischer Urteile a priori.

Synthetisch ist nach Kant das Urteil: einige Körper sind schwer, weil das Merkmal der Schwere nicht im Körperbegriff steckt. Hier ist es die Erfahrung, welche uns lehrt, daß die Schwere Körpern zukommt. — Wie aber können synthetische Urteile *a priori*, d. h. unabhängig von der Erfahrung sein?

Versuch, die apriorischen Grundannahmen als analytische Urteile zu deuten.

Analytische Urteile geben uns nicht wirklich neue Belehrung. Wenn wir in der Definition einem Begriff ein Merkmal zugesprochen haben, ohne zu fragen, ob dem so definierten Begriff entsprechende Gegenstände existieren, so können wir dies Merkmal freilich nachher von dem Begriff aussagen, ohne uns um Erfahrung und Wirklichkeit zu kümmern. Wir wissen dann aber auch nichts über Erfahrung und Wirklichkeit. Die analytischen Urteile, die als solche *a priori* sind, stellen daher keine echten Voraussetzungen über Wirklichkeit und Natur vor. Trotzdem hat man versucht, jene apriorischen Voraussetzungen, von denen wir sprachen, als analytische Urteile zu deuten. Man überlegt etwa folgendermaßen: Betrachten wir als Beispiel die wichtige Voraussetzung: die Wirklichkeit folgt immer strengen Gesetzen. Dies Urteil kann nicht streng aus der Erfahrung abgeleitet werden; denn wir beobachten die Wirklichkeit ja gar nicht immer und überall, z. B. nicht im Zentrum des Erdballes. Trotzdem ist das Urteil absolut streng gültig, weil wir nur das zur Wirklichkeit rechnen, was strengen Gesetzen folgt. So betrachten wir die geträumten Erlebnisse als nicht wirklich, weil sie dies nicht tun; gleich den geträumten Erlebnissen würden wir alles das als nicht wirklich bezeichnen, das sich nicht strengen Gesetzen fügt. Kein Wunder, daß wir im voraus, „*a priori*", sagen können: alles Wirkliche folgt strengen Gesetzen; das liegt eben in unserem Begriff der Wirklichkeit.

Konventionslehre.

Kants Lösung.

Wir werden diese Auffassung weiter unten zu prüfen haben. Die „Konventionslehre" („Konventionalismus") der Gegenwart hat weitere ähnliche Überlegungen gezeitigt. Kants Lösung ist zwar keineswegs mit dieser identisch, steht ihr jedoch in wesentlichen Punkten nahe. Kant erkennt an, daß es synthetische Urteile *a priori* gibt, die der Naturwissenschaft

zugrunde liegen. Daß diese Erkenntnisse, obwohl sie als apriorische sich nicht nach der Naturerfahrung richten, doch mit ihr übereinstimmen, wird nur verständlich, wenn wir annehmen, daß die Natur sich nach unserem Erkennen richtet. Die Gegenstände der Naturforschung, die körperlichen Erscheinungen, bestehen nicht unabhängig von unserem Erkennen, bilden keine Welt von ,,Dingen an sich'', sondern kommen erst durch unsere Erkenntnisvermögen zustande. Kein Wunder wiederum, daß die ,,reale'' Natur, sofern sie Produkt unserer Erkenntnisvermögen, der Sinnlichkeit und des Verstandes, ist, sich nach letzterem richtet, daß gewisse synthetische Grundsätze unseres Denkens *a priori* sein können.

Die Entwicklung der Methode hat uns über deren Betrachtung hinaus und zu einem Hauptprobleme der Erkenntnistheorie hingeführt. Wir können die soeben angedeuteten Auffassungen prüfen, indem wir zusehen, ob wir in der Tat die Wirklichkeit derart durch unsere Begriffe und Voraussetzungen auswählen, wie konventionalistische Lehren besagen, ob die Naturwirklichkeit durch unseren Verstand bestimmt wird, sich nach ihm richtet, wie von Kantianern behauptet wird, ob schließlich überhaupt eine vollständige logische Rechtfertigung jener ,,wissensnotwendigen'' Voraussetzungen auf diesen Wegen möglich ist.

VORLÄUFIGE FESTLEGUNG UND KRITIK VORWISSENSCHAFTLICHER UND WISSENSCHAFTLICHER REALITÄTSVORAUSSETZUNGEN.

Damit werden wir auf die Untersuchung des Begriffes der Wirklichkeit und der einschlägigen Voraussetzungen der „Realwissenschaften" verwiesen. So bezeichnen wir diejenigen Wissenschaften, die es, wie die Naturwissenschaften, mit „realen" Gegenständen, nicht lediglich mit „Gedankendingen", mit rein begrifflichen, „idealen" Objekten zu tun haben. Die Potenzen und Logarithmen sind solche Gedankendinge, solche begrifflichen Schöpfungen des Verstandes, die man als „ideale" Objekte zu bezeichnen pflegt. Daher nennt man eine Disziplin, welche sich mit solchen Gedankendingen, z. B. mathematischen Funktionen, beschäftigt, eine „Idealwissenschaft". Es ist allerdings strittig, ob die Gegenüberstellung von Real- und Idealwissenschaften zu Recht besteht. Doch berühren diese Streitigkeiten unsere eigentlichen Aufgaben nicht. Vorläufig dürfen wir auch außer Betracht lassen, daß man zuweilen zwischen Wirklichkeit und Realität unterscheidet.

Zum Begriff der Wirklichkeit. Fragen wir, was man unter Wirklichkeit versteht, so geben uns die Philosophen eine Fülle von Antworten, die zum Teil bildlich und unklar sind, mindestens solange wir sie nicht im Zusammenhang der betreffenden Systeme betrachten.

Darf das Wirkliche als das Wirkende definiert werden?

Das Wort selbst scheint auf eine Begriffsbestimmung hinzuweisen: wirklich ist, was wirkt. In der Tat ist Wirken ein Kriterium der Wirklichkeit, dessen sich die Realwissenschaften immerfort bedienen. Unwahrnehmbare Himmelskörper werden als wirklich erschlossen, weil sie auf die Bahn der sichtbaren Sterne wirken. Die Sinneswahrnehmungen, die dem Naturforscher seine wirkliche Welt eröffnen, sind für ihn Wirkungen jenes „Wirklichen", das sich durch sie offenbart. Wenn der Psychologe unbewußte seelische Realitäten hypothetisch einführt, so weist er vielfach auf Erscheinungen hin, die er als Wirkungen dieser unbewußten Faktoren auffaßt. Wird die Realität der Person Jesu bestritten, so zeigt man demgegenüber jene historischen Tatsachen auf, die als Wirkungen auf eine geschichtliche Persönlichkeit als Ursache hinweisen.

Trotzdem kann man Bedenken hegen, das Wirkliche als das Wirkende zu definieren. Es mag wahr sein, daß alles Wirkliche (und nur das Wirkliche) wirkt und immer wirkt. Doch dürfen wir nicht ohne weiteres voraus-

setzen, daß alles Wirkliche wirke oder auch nur wirken könne. Denn es ist ernsthaft bestritten worden, daß Empfindungen, Vorstellungen, Gedanken, Gefühle, Wollungen wirken. Die vermeintlichen Wirkungen eines Gefühls, z. B. das Lachen, sollen nicht von ihm selbst verursacht sein, sondern von außerbewußten Prozessen, etwa Gehirnvorgängen, bewirkt werden, die jenem Gefühl zugrunde liegen, die es begleiten. Dies mag nun richtig sein oder nicht (es handelt sich um Hypothesen), sicherlich können wir unser Urteil, daß ein erlebter Schmerz „wirklich" sei, nicht davon abhängig machen, ob er Wirkungen ausübt. Wenn man in einer scheinbar bösen Lage ein heiteres Gesicht macht, und wenn dann jemand bezweifelt, ob man „wirklich" fröhlich sei, so kann man eventuell mit voller Gewißheit sagen: „Ich bin wirklich heiter", ohne daß man sich erst nach Wirkungen dieser Stimmung umsehen müßte. Wir müssen den mit voller Gewißheit in uns feststellbaren Bewußtseinstatsachen Wirklichkeit zusprechen, unabhängig von der Entscheidung der Frage, ob sie wirksam sind.

Wirklichkeit und Denken.

Im obigen Beispiel könnte die Antwort lauten: „Ich scheine nicht nur heiter, ich bin es wirklich." Ich kann wirklich heiter sein, unabhängig davon, ob ich heiter scheine, ob jemand annimmt, meint, denkt, daß ich es sei, ja unabhängig davon, ob ich selbst daran denke. Diese Unabhängigkeit des Objektes davon, ob es „vorgestellt", „gemeint", ob und wie „daran gedacht" wird oder nicht, ist wesentlich für seine Wirklichkeit. Das gilt selbst für einen Gedanken, den ich wirklich habe; freilich ist dieser mein Gedanke nur wirklich, sofern ich ihn denke; aber seine Wirklichkeit ist unabhängig davon, daß ich an ihn denke. Wenn ich z. B. an Napoleon I. denke, so ist dieser Gedanke an Napoleon I. wirklich, auch wenn ich nicht an den Gedanken denke, d. h. auch wenn nicht ein zweiter Gedanke hinzukommt, der sich mit meinem Gedanken an Napoleon I. beschäftigt. Das Wirkliche steht also dem bloß Scheinbaren, nur Gemeinten oder Gedachten gegenüber als ein Plus, das unabhängig ist davon, ob es „scheint", gemeint ist, ob und wie daran gedacht wird; darum muß sich der Gedanke, der ein Wirkliches erfassen will, nach diesem richten.

Durch Ergebnisse der Psychologie wird man vielleicht unsere Behauptung zu widerlegen suchen. Man kann einwenden, ein wirkliches Gefühl sei nicht unabhängig davon, ob und wie daran gedacht wird; vielmehr ändert sich das Gefühl, etwa in seiner Intensität, sobald sich das Denken mit ihm beschäftigt. Der Einwand trifft indessen die richtig verstandene Bestimmung nicht. Unser Denken kann die gegenwärtig wirkliche (wie eine vergangene) Phase des Gefühls nicht mehr ändern; diese ist, wie sie ist, und wenn ein Gedanke an das Gefühl hinzukommt, so ändert dieser dasselbe nur insofern, als die zukünftigen, noch nicht wirklichen Phasen anders werden. Soweit das Gefühl schon wirklich ist (und war), kann es nicht mehr geändert werden durch Hinzutreten eines Gedankens; will dieser die bereits wirkliche Phase erfassen, wie sie ist, so muß er sich nach ihr richten. Das zukünftige Wirkliche mag freilich von unserem Denken an und über dasselbe abhängen; aber es ist eben auch noch nicht

wirklich, wird erst wirklich, d. h. kommt erst dazu, die für das im eigentlichen Sinne Wirkliche charakteristische Unabhängigkeit vom Denken zu erlangen.

Unsere Bestimmung des Wirklichen, die sich auf seine Beziehung zum Gedachten usw. beruft, ist als relative keineswegs endgültig befriedigend, kann aber manche Dienste leisten. Um das Wirkliche besser zu erfassen, fragen wir, welche Objekte denn unzweifelhaft wirklich sind.

Die Wirklichkeit nach vorwissenschaftlicher Auffassung. Als vorwissenschaftlich im strengen Sinne wäre eine Auffassung zu bezeichnen, welche, wie die des Naturmenschen, von wissenschaftlichen Einflüssen völlig oder doch fast ganz unberührt geblieben ist. Wir denken aber bei Verwendung dieses Ausdrucks in erster Linie an die Auffassung, die uns alle im täglichen Leben leitet, wenn wir „naiv", ohne wissenschaftlich orientierte Reflexion, die Welt anschauen.

Die körperliche Wirklichkeit nach vorwissenschaftlicher Auffassung

Dann gibt es für uns eine Fülle des Wirklichen. Man zweifelt nicht an der Wirklichkeit der wahrgenommenen Körperwelt, die unabhängig von der Wahrnehmung fortbesteht. Unbedenklich werden den Körpern Empfindungsqualitäten des Roten, des Kalten usw. und räumliche Eigenschaften des Runden, des Spitzen usw. zugeschrieben. Die Rose ist rot, das Eis ist kalt, die Nadel ist spitz und die Postkarte ist viereckig, auch wenn niemand dies sieht und fühlt. Im Sinne der vorwissenschaftlichen Auffassung heißt dies nicht nur — wie es manche Philosophen interpretieren wollten — es besteht immerfort die Möglichkeit, das Rot der Rose zu sehen, sondern man meint, das Rot sei so, wie es gesehen wird, auch dann vorhanden, wenn niemand es sieht. Die Wahrnehmung bringt die Empfindungsqualität und die Form nicht erst hervor, sondern faßt diese Eigenschaften, die ohnehin vorhanden sind, lediglich auf.

Es besteht für die vorwissenschaftliche Auffassung auch kein Zweifel daran, daß die Körper Kräfte haben, durch die sie Wirkungen hervorbringen. An der Wirklichkeit der Wucht strömenden Wassers zu zweifeln, kommt dem Müller nicht in den Sinn. Seine Hand kann diese Kraft wahrnehmen, die das Mühlrad treibt.

Neben den wahrgenommenen Wirklichkeiten gibt es verborgene, wie das Erz im Innern der Berge.

Die seelische Wirklichkeit

Das Seelenleben der Mitmenschen und Tiere in Zweifel zu ziehen, liegt dem „naiven" Menschen völlig fern. Der verwundete Feind, der getretene Wurm fühlen „wirklichen" Schmerz.

Vergangenheit und Zukunft.

Im engeren Sinne ist nur das Gegenwärtige wirklich. Doch zweifeln wir nicht an der „wirklichen" Vergangenheit und Zukunft. Unser und der Mitmenschen Gedächtnis und mancherlei zurückbleibende Zeugnisse und Spuren geben von der Vergangenheit im ganzen ein treues Bild, und die Kenntnis des Vergangenen ermöglicht einen leidlich zuverlässigen Ausblick in die Zukunft, weil zumeist der kommende Tag dem Heute und Gestern gleicht, weil Regel und Ordnung in weitem Umfange den Weltlauf beherrschen, wenngleich mancherlei Zufälle sie durchbrechen und der Wandel der Zeiten sie teilweise umgestaltet.

Die Wirklichkeit nach naturwissenschaftlicher Auffassung. Die Einzelwissenschaften haben diese Wirklichkeit der vorwissenschaftlichen Auffassung zunächst übernommen; indessen wurden sie bald zu mancherlei Korrekturen gedrängt. Soweit diese allein die seelisch-geistige Welt betreffen, sehen wir von ihnen ab, wie wir schon die einschlägigen vorwissenschaftlichen Annahmen zurücktreten lassen durften.

Die Naturwissenschaft hat unser Bild von der Wirklichkeit einerseits ungemein bereichert. Die glänzenden Punkte am nächtlichen Himmel sind zu gewaltigen Erden und Sonnen geworden; im trüben Wassertröpfchen tobt der Kampf ums Leben; selbst in einem Splitter starren Stahles wirbeln Millionen von Atomen und Elektronen.

Indes diese Bereicherung bedeutet noch keine grundsätzliche Änderung in bezug auf den Charakter des unzweifelhaft Wirklichen. In der Neuzeit aber beginnt die Naturwissenschaft von diesem prinzipiell sehr bedeutsame Abstriche zu machen. Zwar die ,,beschreibenden" Naturwissenschaften lassen unter stillem Vorbehalt der Wirklichkeit, dem Tier, der Pflanze, dem Stern ihre Farben usw. Die Physik aber hat seit der Renaissance endgültig die alte Philosophenlehre übernommen, daß Farbe, Ton, Geruch, Wärme und Kälte usw. (die ,,sekundären Qualitäten" Boyles und Lockes) nur ,,in der Empfindung" existieren. Das Rot, wie wir es sehen, kommt der Rose ,,an sich", unabhängig von unserer Wahrnehmung, nicht zu. Die Empfindungsqualitäten sind Wirkungen ,,in uns", hervorgerufen etwa durch allerhand verborgene Bewegungen, die vom wahrgenommenen Objekte ausgehen. Das Grün des Waldes und der Klang des Hornes gehören nicht zur körperlichen Wirklichkeit.

Die Subjektivität der Empfindungsqualitäten.

In bezug auf das Wirklichkeitsproblem ist damit ein bedeutungsvoller Schritt vorwärts geschehen; in der philosophischen Entwicklung haben ihn schon vorsokratische Denker getan. Unsere Wahrnehmung faßt nicht mehr die körperliche Wirklichkeit so auf, wie sie ist. Vom Wahrgenommenen sind vielmehr erhebliche Abstriche zu machen, die zunächst die Empfindungsqualitäten betreffen. Der Zweifel hat die Naturwirklichkeit des naiven Bewußtseins angegriffen.

In der Philosophie drang er frühzeitig weiter vor. Die Angriffe, welche schon der vorsokratische Rationalismus gegen die Sinneserkenntnis richtete, betrafen bereits das auf ihr fußende Weltbild in allen Teilen; sie wandten sich z. B. auch gegen den Bewegungsbegriff. Doch die Naturwissenschaft der Neuzeit hat sich lange mancherlei weiteren Abstrichen von der körperlichen Wirklichkeit durchaus widersetzt. Die Körper mit ihrer Form und Größe, mit Bewegungen und diese bewirkenden Kräften, Raum und Zeit, in denen sich das körperliche Geschehen abspielt, dies alles bleibt für die Naturwissenschaft wirklich. Erst in jüngerer Zeit dringt der philosophische Zweifel in der Naturwissenschaft viel weiter vor, ohne freilich allgemein siegreich zu sein. Immerhin werden die Kräfte von bedeutenden Naturforschern als bloße Hilfsbegriffe, ohne reale Existenz, aufgefaßt, und schließlich werden die Körper als bloße ,,Erscheinungen", nicht als von aller menschlichen Auffassung unabhängige

Wirklichkeiten „an sich" betrachtet, ganz im Sinne verbreiteter erkenntnistheoretischer Lehren.

Kritik der realistischen Voraussetzungen bezüglich der Körperwelt. Erscheinung und Ding-an-sich im vorwissenschaftlichen Denken. Nachdem einmal der Zweifel die sorglose Sicherheit erschüttert hat, mit der wir zunächst die Wirklichkeit der sinnlich wahrgenommenen Körper und körperlichen Eigenschaften voraussetzen, kann ihm nicht eher Einhalt geboten werden, bis die Voraussetzungen sorgfältig geprüft und gegebenenfalls korrigiert sind. Unhaltbare und für die wissenschaftliche Erkenntnis entbehrliche Voraussetzungen sind zu beseitigen.

Der Widerspruch in der vorwissenschaftlichen Auffassung der Außenwelt.

In der vorwissenschaftlichen Auffassung der Außenwelt, im sogenannten naiven Realismus, liegt bereits vor aller wissenschaftlichen Kritik die Tendenz zur Selbstzersetzung, weil in ihm unverträgliche Voraussetzungen in Konflikt kommen. Unsere Wahrnehmung eines Körpers hängt von allerhand Wahrnehmungsbedingungen , z. B. von der Entfernung, Beleuchtung usw. ab. Zugleich soll die Wahrnehmung den Körper gleichsam selbst auffassen, so wie er ist. Andererseits nehmen wir an, daß jene Wahrnehmungsumstände, wie Beleuchtung und Entfernung vom Auge usw., den Körper selbst nicht beeinflussen. Von diesen Voraussetzungen aus ergibt sich ein Widerspruch: während der Körper unverändert bleibt und so wie er ist (also unverändert) durch unsere Sinne aufgefaßt werden soll, ist doch andererseits unsere Wahrnehmung (die Gestalt und die Farbe, die wir wirklich sehen) mit den Wahrnehmungsbedingungen stark veränderlich. Wir sehen das Rot der Rose nachts als Schwarzgrau; wir sollen dieses Rot aber auffassen, wie es wirklich ist, und zugleich meinen wir, daß die Rose auch nachts ihre rote Farbe wirklich behält.

Der Widerspruch könnte in verschiedener Weise, durch Preisgabe bzw. Veränderung der einen oder der anderen Voraussetzung, beseitigt werden. Entweder die Wahrnehmungsbedingungen ändern den Körper mit seinen Eigenschaften (Farbe, Gestalt usw.) nicht; dann erscheint der Körper (seine Farbe, Gestalt usw.) unter veränderten Wahrnehmungsbedingungen anders, ohne es wirklich zu sein. Oder die Wahrnehmungsbedingungen ändern den Körper selbst; die Brille macht die Buchstaben wirklich groß und die Nacht die Rosen wirklich schwarzgrau. Dann kann man jedoch nicht gut sagen, daß die Körper von der Wahrnehmung unabhängig seien: ein seitlicher Druck aufs Auge verschiebt dann die Berge, die ich am Horizont sehe. Sind aber die Körper wirklich so, wie ich sie (z. B.) sehe, und ändern sie sich mit den Wahrnehmungsbedingungen so, wie das Gesehene sich ändert, so muß man auch annehmen, daß die Körper verschwinden, wenn das Gesehene verschwindet, wenn ich die Augen schließe; denn auch das ist nur eine Änderung der Wahrnehmungsbedingungen. Dann wäre aber die Voraussetzung aufgegeben, daß die körperliche Wirklichkeit von der Wahrnehmung unabhängig sei. Alles, was die Wahrnehmung beeinflußt, würde damit auch die Körper verändern.

Unterscheidung von Erscheinung und An-sich-Sein.

Das vorwissenschaftliche Denken hält (so weit es überhaupt Stellung nimmt) die vorausgesetzte Unabhängigkeit der Körperwelt von der Wahrnehmung fest

und muß daher die erste Möglichkeit akzeptieren: der Körper erscheint unter veränderten Wahrnehmungsbedingungen anders als er ist. Der breite grüne Strom erscheint aus der Ferne als schmales Silberband. Damit ist schon im vorwissenschaftlichen Denken die naiv-realistische Voraussetzung durchbrochen, daß wir in der Sinneswahrnehmung die Körper selbst auffassen, so wie sie sind. Wir haben nun auf der einen Seite die körperliche Wirklichkeit, wie sie „an sich", unabhängig von unserer Wahrnehmung, ist, auf der andern eine Erscheinung, ein Bild derselben, das von allerhand Wahrnehmungsbedingungen abhängt.

Indem das vorwissenschaftliche Denken an der Voraussetzung einer von der Wahrnehmung unabhängigen Wirklichkeit festhält, gelangt es bereits zu dem Gegensatz von Ding an sich und Erscheinung.

Bedeutung der Unterscheidung von Erscheinung und Ding-an-sich für das Erkennen. Doch beachtet das vorwissenschaftliche Denken diese Verhältnisse wenig. Es bleibt dabei, daß am Tage die Blätter so aussehen, wie sie an sich sind.

Bedeutung dieser Unterscheidung für das Erkennen.

Wer aber die Abhängigkeit der Wahrnehmung von den Wahrnehmungsbedingungen sorgfältig beachtet, erkennt alsbald, daß sie sich nicht bloß gelegentlich geltend macht und zumeist vernachlässigt werden kann. Mit unserer Stellung im Raume wechselt fortwährend Größe und Gestalt des Gesichtsbildes eines Körpers ungemein, wie die physiologische Optik und beim mathematischen Zeichnen die Lehre von der Projektion und Perspektive genauer zeigen. Der Impressionismus in der Malerei belehrt uns oft eindringlich darüber, daß der weiße Schnee blau, gelb und rot aussehen kann, daß alle Dinge mit dem Wechsel der Tages- und Jahreszeiten die scheinbare Farbe ändern. Der Physiker, der Physiologe und der Psychologe erklären, was der Maler unmittelbar erschaut, durch Reflexions-, Absorptions- und Kontrastgesetze, durch Mitwirkung des Gedächtnisses bei der Sinneswahrnehmung usw.

Welche der wechselnden Erscheinungen gibt nun das Ding-an-sich richtig wieder? Ist der Schnee so weiß, wie er an einem klaren Sonnentage erscheint, oder so, wie er bei trübem Nebelwetter aussieht? Im Zimmer stehendes Wasser kann der einen Hand, die vorher in Eiswasser tauchte, warm, der andern, die im heißen Wasser war, kühl erscheinen. Welche „Erscheinung" gibt hier eine Eigenschaft wieder, die dem Wasser „an sich" zukommt, oder ist dies bei keiner von beiden der Fall? Das Erkennen der Dinge, wie sie an sich sind, mit Hilfe der Sinne stößt alsbald auf schwierige Probleme.

Das Zustandekommen der Sinneswahrnehmung legt den Gedanken nahe, daß Erscheinung und Ding-an-sich recht verschieden sein können.

Die Erscheinung als Wirkung des Dinges-an-sich. Die Schwierigkeiten wachsen ungemein, wenn man das Zustandekommen der Sinneswahrnehmung genauer betrachtet. Das Objekt muß zu unseren Sinnesorganen in Beziehung treten, muß direkt oder indirekt auf sie wirken, um uns zu erscheinen. Im Sinnesorgan müssen besondere Lebensprozesse, nervöse Erregungen zustande kommen; diese müssen sich in den Nerven zum Gehirn und seinen komplizierten Einrichtungen fortpflanzen und dann zum seelischen Vorgang der Wahrnehmung führen. Das ist eine überaus zusammengesetzte und undurch-

sichtige Kette von Ursachen und Wirkungen. Wenn unter durchsichtigeren Verhältnissen längere Kausalketten verfolgt werden, kann die letzte Wirkung von der Ursache schließlich sehr verschieden sein. Man wirft z. B. eine Münze in einen Automaten, und ein Musikstück ertönt. So könnte auch die Erscheinung von dem auf unsere Sinne wirkenden Ding-an-sich völlig verschieden sein.

Die genauere Betrachtung der bei der Sinneswahrnehmung vorliegenden Kausalkette bestärkt diese Überlegung. Ein bewegter Körper, der meine Hand trifft und wahrgenommen wird, ruft im Nerven unmittelbar feine Prozesse hervor, die himmelweit von jenem bewegten Körper selbst verschieden sind.

Reiz und Empfindung.

Die physiologische Psychologie zeigt überdies, daß ganz verschiedene Reize gleiche Empfindungen und gleiche Reize verschiedene Empfindungen hervorrufen können. Lichterscheinungen werden durch „wirkliches" Licht, durch seitlichen Druck aufs Auge und durch elektrische Reize hervorgerufen. Gleichen nun die Lichtempfindungen dem Druck oder Schlag aufs Auge oder der Elektrizität? Und wenn sie dem Druck nicht gleichen, warum sollen sie dann dem „wirklichen" Licht gleichen? Derselbe Reiz, der dem Auge als Licht erscheint, erscheint der Haut als Wärme. Gleicht nun die Lichtempfindung oder die Wärmeempfindung dem „wirklichen" Reiz? Beide Annahmen wären offenbar gleich willkürlich. Wir müssen gestehen, nicht zu wissen, ob die Erscheinungen den auf unsere Sinnesorgane wirkenden Dingen-an-sich gleichen. (Diese Überlegungen können zugleich die Bedeutung physiologisch-psychologischer Ergebnisse für den kritischen Teil der Erkenntnistheorie verdeutlichen, von der oben — S. 56f. — die Rede war.)

Auffassung der Dinge-an-sich in der Physik. Primäre und sekundäre Qualitäten. Die Wirklichkeitsauffassung, welche in der Physik seit Galileis Tagen vorherrscht, erscheint als eine Halbheit, wenn man sie an solchen kritischen Resultaten mißt. Zwar die Empfindungsqualitäten, die „sekundären Qualitäten" Boyles und Lockes, werden vom Physiker den Körpern-an-sich abgesprochen; unabhängig von der Wahrnehmung sind die Dinge nicht mit dem Rot, Warm oder Süß behaftet, welche wir als Empfindungen erleben. Aber Gestalt, Größe, Dauer, Bewegung, kurz die räumlichen und zeitlichen Eigenschaften (dazu noch Zahlbestimmungen u. a.), die „primären Qualitäten", werden der körperlichen Welt-an-sich zugeschrieben und als erkennbar betrachtet. Den sekundären Qualitäten in der Sinneswahrnehmung entsprechen primäre Besonderheiten der Körper; so etwa der Wärmeempfindung unsichtbare Bewegungen der Körperteilchen.

Gründe für die Beibehaltung der primären Qualitäten.

Man wird fragen, wie der Physiker dazu kommt, die primären Qualitäten beizubehalten, die sekundären aber fallen zu lassen bezw. zu ersetzen. Die Geschichte dieser Auffassung weist Antworten auf, die logisch wenig befriedigen. Descartes und andere mit ihm meinten, Größe, Gestalt, Bewegung usw., die mathematischer Behandlung zugänglich und klar und deutlich faßbar seien, hätten eben darum als objektiv zu gelten. Dagegen die Empfindungsqualitäten seien dunkel und undeutlich, verworren; während aber der Rationalist Descartes das klar Erfaßte unbedenklich als objektive Erkenntnis betrachtete, galt ihm

das Unklare als nicht-objektiv; es war durch klare, also räumliche und zeitliche Bestimmungen der Wirklichkeit zu ersetzen.

Solche Überlegungen sind historisch wohl zu verstehen, sachlich aber recht schwach. Es ist nicht selbstverständlich, daß die Körperwelt nur Eigenschaften habe, die uns den Gefallen tun, unserer mathematischen Behandlung zugänglich zu sein. Auch ist es keineswegs ausgemacht, daß Farben bzw. Farbverhältnisse oder Tonverhältnisse sich ihr prinzipiell entziehen. Eine reine Farbe, ein reiner Ton sind aber gewiß für uns nicht unklarer und undeutlicher als komplizierte Figuren. — Descartes beruft sich auf verkehrte Auffassungen von sekundären Qualitäten; die Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse unterliegt aber ebenfalls vielen Täuschungen. Andere Argumente für die „Verworrenheit" der Sinnesqualitäten sind ebenso schwach.

Descartes sah in der Ausdehnung die Grundeigenschaft des Körperlichen. Ohne Ausdehnung ist nach ihm kein Körper denkbar. Also erscheint diese primäre Qualität unentbehrlich. — Darauf wäre zu antworten, daß nach dieser Auffassung die Dinge-an-sich, welche unsere körperlichen Erscheinungen hervorrufen, möglicherweise nicht als Körper bezeichnet werden dürften. Es gibt ja Wirkliches, das nicht ausgedehnt ist: ein Gefühl der Freude ist nicht so und so breit, lang und hoch, sondern unräumlich. So wären auch unräumliche Dinge-an-sich zu den räumlichen Erscheinungen, die uns Gesicht und Tastsinn bieten, prinzipiell denkbar. Die Unentbehrlichkeit der primären Eigenschaft der Ausdehnung erscheint vorläufig nicht bewiesen.

Es spricht auch nicht entscheidend für die Räumlichkeit der Dinge-an-sich, welche den Körperwahrnehmungen zugrunde liegen, wenn wir uns Körper nur ausgedehnt vorstellen können, während wir dabei von den Eigenschaften der Röte, der Wärme, der Härte usw. abstrahieren können. Indessen ist der Nachteil, in dem hier die sekundären Qualitäten zu stehen scheinen, nur scheinbar. So gut man sich einen Körper vorstellen kann, der nicht rot ist, so gut kann man sich einen solchen vorstellen, der nicht kugelförmig ist. Und so wenig man sich einen Körper vorstellen kann, der nicht ausgedehnt ist, dem die räumlichen Qualitäten völlig fehlen, ebensowenig kann man sich einen solchen vorstellen, dem alle sekundären Qualitäten fehlen. Irgendeine sekundäre Qualität, etwa eine Farbe, muß man sich mitvorstellen, wenn man überhaupt eine echte „anschauliche" Vorstellung eines Körpers haben will, genau so wie man sich irgendeine Gestalt dabei vorstellen muß. Man mag die Kanten eines Würfels noch so blaß andeuten, ganz darf das Empfindungsartige nicht fehlen, solange eine echte Vorstellung bestehen soll. (Das ist zum mindesten die herrschende Überzeugung der Psychologen, der allerdings von O. Liebmann widersprochen wurde. Eine Entscheidung durch Selbstbeobachtung scheint mir nicht ganz so leicht, wie man vielfach annimmt.) Man kann freilich an ausgedehnte Objekte „denken", ohne sie anschaulich vorzustellen; das gleiche gilt aber auch für sekundäre Qualitäten, wobei es dahingestellt bleiben mag, wie dies zugeht.

Der bedeutsamste Grund.

Den bedeutsamsten Grund für die Beibehaltung der primären Qualitäten und den Ersatz der sekundären durch primäre Bestimmungen gab die Möglich-

keit ab, auf diese Weise mit mathematischen Methoden in der Erklärung der Naturerscheinungen weiter zu kommen. Der Chemiker, dem der Ersatz aller Eigenschaften seiner Stoffe durch räumliche und zeitliche Bestimmungen (Struktur- und Bewegungsverhältnisse) bis in die jüngste Zeit nicht gelingen wollte, hielt an besonderen, nicht räumlich-zeitlichen Eigenschaften der Körper fest, die freilich mit den Empfindungsqualitäten nicht zu vergleichen waren; auch der Physiker konnte solche nicht-primären Qualitäten nicht gut ganz entbehren, z. B. nicht bei der Unterscheidung der positiven und negativen Elektrizität. Immerhin strebte man den Ersatz solcher Qualitäten durch primäre, durch Struktur- und Bewegungsbestimmungen an.

Im folgenden haben wir der Frage, ob diese Auffassungen und Bestrebungen sich rechtfertigen lassen, weitere Untersuchungen zu widmen. Aus unseren bisherigen Überlegungen ist nicht recht einzusehen, warum den primären Qualitäten ein Vorzug eingeräumt werden soll. Die Wahrnehmung der Gestalt ändert sich mit den Wahrnehmungsumständen nicht weniger als die der Sinnesqualitäten. Eine Papierkarte kann als Rechteck, als schiefwinkliges Viereck, als gerade Linie, bald größer, bald kleiner erscheinen. Wenn die Erscheinung als kompliziert vermittelte Wirkung dem Ding-an-sich bezüglich der sekundären Qualitäten nicht zu gleichen braucht, so ist ohne weiteres nicht ersichtlich, warum sie in den primären Qualitäten mit ihm besser übereinstimmen sollte.

Der Phänomenalismus. Wie es denkbar scheint, daß den Dingen-an-sich überhaupt keine den Sinnesqualitäten gleichartigen Eigenschaften zukommen (obschon dies immerhin möglich bleibt), so könnten ihnen möglicherweise auch alle räumlichen Eigenschaften fehlen. Im täglichen Leben nehmen wir keinen Anstoß daran, daß ein unräumliches Gefühl zu räumlichen Wirkungen, zu Bewegungen unseres Körpers (Lachen oder Weinen) führt; der Gedanke, daß unräumliche Dinge-an-sich unsere Sinneswahrnehmungen verursachen, erscheint prinzipiell jedenfalls nicht schwieriger.

Der Phänomenalismus lehrt Unerkennbarkeit der Dinge-an-sich.

Wenn man nun weder die Empfindungsqualitäten noch die räumlichen Eigenschaften der Erscheinungen auf die „wirkliche Außenwelt" der Dinge-an-sich übertragen darf, so erscheinen letztere unerkennbar. Man weiß nur, daß Dinge-an-sich als Ursachen der Sinneserscheinungen existieren, nicht aber, wie sie beschaffen sind. Unsere Erkenntnis, auch die naturwissenschaftliche, ist auf Erscheinungen eingeschränkt.

Diese Ansicht bezeichnet man zumeist als Phänomenalismus (leider ist die Anwendung des Ausdruckes nicht überall die gleiche). Es handelt sich um die Lehre, daß Dinge-an-sich zwar existieren, aber unerkennbar sind, so daß unsere Erkenntnis auf Erscheinungen beschränkt ist. In dieser Lehre liegt also ein erkenntnistheoretischer Versuch vor, die Grenze unseres Erkennens zu bestimmen. — Realismus (im erkenntnistheoretischen Sinne) nennen wir die Lehre, daß Dinge-an-sich erkennbar sind. Das vorwissenschaftliche Denken setzt dies ohne Selbstkritik voraus und überträgt primäre und sekundäre Qualitäten auf die Außenwelt (naiver Realismus). Die Physik hält die

primären Qualitäten fest und ersetzt die sekundären durch primäre Bestimmungen (physikalischer Realismus). Wird an der Erkennbarkeit der Außenwelt — vielleicht innerhalb gewisser Grenzen — auf Grund erkenntnistheoretischer Prüfung der gegnerischen Einwände festgehalten, so sprechen wir von einem kritischen Realismus.

Außer den Dingen-an-sich, die zu den Erscheinungen der Körperwahrnehmung angenommen werden, fordert man vielfach Dinge-an-sich, welche den seelischen Erscheinungen der inneren oder Selbstwahrnehmung zugrunde liegen; hierher gehört die Hypothese einer hinter den Äußerungen des Seelenlebens stehenden Seelensubstanz und anderes mehr. Auch in bezug auf diese Dinge-an-sich kann man von Phänomenalismus und Realismus reden.

In der Naturerkenntnistheorie denken wir an die Dinge-an-sich, welche zu den Erscheinungen der Körperwahrnehmung gehören, wenn wir von Phänomenalismus und Realismus sprechen.

Der entschiedene Phänomenalismus leugnet (wie Kant) sogar, daß die Dinge-an-sich Zeitbestimmungen tragen (freilich ist schon mit der Behauptung der Zeitlosigkeit der Dinge-an-sich eine Erkenntnis derselben gesetzt. Noch reiner wäre ein Phänomenalismus, der auch die Frage nach den Zeitbestimmungen der Dinge-an-sich gänzlich offen ließe). Man wird jedoch einwenden, daß die Ursache der Wirkung unmittelbar voraufgeht und insofern durch letztere zeitlich bestimmt sein muß; das gilt dann auch für die Dinge-an-sich, die die sinnlichen Erscheinungen bewirken — falls nicht der Ursachebegriff anders gefaßt werden kann. Jedenfalls enthält die Annahme unzeitlicher „Realgründe" der Erscheinungen größere Schwierigkeiten als die Hypothese unräumlicher Ursachen derselben. Wir finden in unseren Erfahrungen, im Seelenleben Unräumliches, jedoch nichts, das nicht in der Zeit wäre und zeitliche Bestimmungen nicht zuließe.

Der Konszientialismus (subjektiver, erkenntnistheoretischer Idealismus, Immanenzphilosophie). Ist die Kritik einmal bis zum Phänomenalismus vorgedrungen, ist die von der Wahrnehmung unabhängige Außenwelt der primären und sekundären Qualitäten beraubt, bleiben nur noch unerkennbare Dinge-an-sich, so erhebt sich leicht die weitere Frage, ob diese Reste der körperlichen Wirklichkeit nicht auch noch überflüssig sind. Wenn wir nur Erscheinungen erkennen, wie sollen wir dann wissen, daß „hinter" ihnen Dinge-an-sich existieren. Man darf nicht antworten, der Begriff der Erscheinung setze etwas voraus, das erscheint. Man braucht ja das bisher als Erscheinung bezeichnete, so und so gestaltete Gefüge verbundener Empfindungsqualitäten nicht Erscheinung zu nennen, wenn man bei diesem Worte immer an Erscheinung von etwas denkt. Wir aber verwenden das Wort ohne diesen Nebengedanken weiter, da es einmal gebräuchlich ist.

Die Annahme von Dingen-an-sich erscheint hiernach unbegründet.

Die Erfahrung lehrt uns, daß ein Körper auf unsere Sinne, etwa auf die Haut, wirken muß, damit wir ihn wahrnehmen. Aber der Körper, von dem wir diese Erfahrung machen, ist kein Ding-an-sich, sondern selbst Erscheinung mit primären und sekundären Qualitäten. Somit wissen wir gar nicht, ob Dinge-an-

sich unsere Wahrnehmungen verursachen und den Erscheinungen zugrunde liegen. Damit scheint jeder Grund fortzufallen, Dinge-an-sich hinter den Erscheinungen der Körperwahrnehmung zu suchen.

Der Weg, der zu diesem Punkte führt, begann bei der Scheidung zwischen der Erscheinung und der von der Wahrnehmung unabhängigen Wirklichkeit. Wir mußten ihn betreten, wenn wir daran festhalten wollten, daß die Körperwelt unabhängig sei von den Wahrnehmungsbedingungen, daß sich nicht Berge verrücken, wenn wir seitlich an unser Auge drücken, daß sie nicht verschwinden, wenn wir die Augen schließen. Nun ist diese von der Wahrnehmung unabhängige Wirklichkeit uns doch entschwunden. Wir wissen nur noch von körperlichen Erscheinungen; wir wissen nicht, ob hinter ihnen etwas existiert, was fortbesteht, wenn die Wahrnehmung aufhört. Jene Voraussetzung, die wir nicht fallen lassen wollten, ist schließlich doch hinfällig geworden.

Die Körperwelt ist Erscheinung; sie besteht aus den Empfindungsqualitäten — dem Grün, das wir sehen, dem Kalt, das wir fühlen, usw. —, die in Gestalten vereinigt, durch Beziehungen verbunden sind. Aber alles dies existiert nur während und in unserer Wahrnehmung. Die Erscheinung ändert sich mit dem Standpunkte, mit den ganzen Wahrnehmungsbedingungen des Subjekts in ihren primären und sekundären Qualitäten; sie ist insofern „subjektiv". Jeder Mensch hat eben seine eigene Welt von Erscheinungen; wenn zwei Menschen nach naiver Auffassung „denselben" Baum besehen, so haben sie verschiedene, wenngleich vielleicht ähnliche Erscheinungen.

Die Erscheinungen sind Bewußtseinsinhalte. Das Weiß des Papieres und seine Gestalt werden von mir unmittelbar erlebt, wie eine Erinnerung, ein Gefühl, ein Willensentschluß; das gesehene Weiß ist in meinem Bewußtsein so gut wie ein Weiß, das ich aus dem Gedächtnis heraus anschaulich vorstelle, oder wie ein im Traume erscheinendes Weiß. Der Standpunkt, welcher die Existenz von Dingen-an-sich nicht mehr festhält, kann demnach als Bewußtseinsstandpunkt oder Konszientialismus bezeichnet werden. Man nennt ihn auch wohl Idealismus, und zwar speziell erkenntnistheoretischen, subjektiven Idealismus, da man die Erscheinungen der Sinneswahrnehmung, die „Wahrnehmungsvorstellungen", wie überhaupt die Vorstellungen, auch „Ideen" nannte; der Idealismus steht dem Realismus schroff gegenüber, während der Phänomenalismus eine mittlere Stellung einnimmt, sofern er wenigstens reale Dinge-an-sich festhält, die Erkenntnis aber gleich dem Idealismus auf Erscheinungen beschränkt. Allerdings wird auch der Konszientialismus zuweilen als Phänomenalismus bezeichnet, besonders von Naturforschern; was wir Phänomenalismus nennen, wird manchmal in Anlehnung an Kants Terminologie Idealismus genannt. Ferner ist für den Konszientialismus die Bezeichnung Immanenzphilosophie im Gebrauch, weil diese Auffassung im Kreise der Bewußtseinsdaten stehen bleibt. (Die ihre Lehre als Immanenzphilosophie bezeichnenden Denker geben diesem Ausdruck allerdings vielfach einen Sinn, der erstere vom subjektiven Idealismus unterscheidet; sie betonen gelegentlich die Unterschiede mit besonderem Nachdruck.) Man spricht auch

wohl von idealistischem Positivismus und (unkorrekt, weil nicht allein Empfindungen, sondern auch andere Bewußtseinsdaten anzuerkennen sind) von Empfindungsmonismus. Leider sind diese Bezeichnungen zum Teil recht vieldeutig und unbestimmt.

Der vermeintliche Widerspruch in der Annahme von Dingen-an-sich. Die Konszientialisten gehen meist über die Behauptung hinaus, es liege gar kein Anlaß vor, Dinge-an-sich anzunehmen; sie meinen, diese Annahme sei direkt unmöglich, weil sie einen Widerspruch einschließe.

Als Ding-an-sich bezeichnet man ein Etwas, das außerhalb unseres Bewußtseins, also auch außerhalb unseres Denkens existiert. Indem ich aber ein Ding-an-sich annehme, denke ich es, nehme ich es in mein Denken auf, während es doch seinem Begriff nach außerhalb meines Denkens liegen soll. Ein Ding-an-sich annehmen, heißt, ein nicht gedachtes Ding denken, zu einem gedachten machen.

In der Annahme von Dingen-an-sich steckt kein Widerspruch.

Doch beruht der scheinbare Widerspruch nur auf der Mehrdeutigkeit der Ausdrücke. Wenn ich ein Ding-an-sich ein „nicht gedachtes" Ding nenne, so soll das heißen, es existiere nicht erst durch das Denken, sondern es sei wirklich, gleichgültig, ob ich es überdies noch denke oder nicht. Ein nicht gedachtes Ding in diesem Sinne kann ich aber ohne Widerspruch denken; denn das heißt nur: ich denke (nehme als wirklich an usw.) ein Ding, das nicht erst durch mein Denken existiert, das existiert, auch ohne daß ich es denke. Ein außerhalb meines Denkens existierendes Ding-an-sich wird durch mein Denken dieses Dinges nicht selbst in mein Denken, mein Bewußtsein aufgenommen (wie wir lediglich in übertragenem Sinne sagen); es bleibt, auch während wir es denken, als solches außerhalb des Denkens, und im Bewußtsein ist nur der Gedanke, die Annahme des Dinges. Darin ist kein Widerspruch zu finden.

Noch in anderem Sinne wird behauptet, Dinge-an-sich seien undenkbar. Man überlegt, alles Denken nehme sein Material zuletzt aus unserem Bewußtsein, aus unseren Empfindungen, Gestaltwahrnehmungen, auch aus unseren Gefühlen. Wollungen usw. Alles dies wird von uns unmittelbar erlebt oder erfahren, Ich kann an den Nordpol denken, weil ich Eis und Schnee gesehen habe, weil in meinem Bewußtsein Material für diesen Gedanken gegeben war. Wie aber soll ich etwas denken, ohne dabei auf irgendwelches Bewußtseinsmaterial, ohne auf primäre und sekundäre Qualitäten, Gefühle usw. zurückzugreifen?

Richtig ist, daß ich mir zwar einigermaßen den Nordpol, nicht aber ein unerkennbares Ding-an-sich ohne primäre oder sekundäre Qualitäten anschaulich vorstellen kann. Aber in Leben und Wissenschaft wird vieles erfolgreich gedanklich erfaßt und bearbeitet, das nicht anschaulich vorstellbar ist. Wie schon Descartes in der sechsten seiner „Meditationen über die Grundlagen der Philosophie" hervorhob, können wir ein Tausendeck wohl ganz gut im Verstande erfassen und bearbeiten, nicht aber anschaulich vorstellen. Da wir verstehen, d. h. denken können, was ein Ding ist, was unabhängig und was Bewußtsein heißt, und da sich diese Begriffe widerspruchslos und sinnvoll zum Begriff des Dinges, welches von unserem Bewußtsein unabhängig ist, verbinden lassen,

können wir auch Dinge-an-sich denken. Man braucht nur zu überlegen, wie der Begriff des Dinges-an-sich zustande kommt, um zu sehen, daß wir ihn bilden und denken können.

Wenn der Konszientialismus Dinge-an-sich jenseits der Erscheinungen, des Bewußtseins („transzendente" Dinge hinter den „immanenten" Erscheinungen) direkt leugnet, so schädigt er die eigene Stellung; er tut besser daran, sie nur für überflüssig zu erklären, zu sagen, daß wir von ihrer Existenz ebensowenig wissen, wie von ihren Eigenschaften.

Der Solipsismus. Wäre der Widerspruch, den Konszientialisten in der Annahme (oder im Denken) von Dingen-an-sich finden wollen, in der Tat vorhanden, so würde er mir beweisen, daß auch meine Mitmenschen lediglich „immanente", in meinem Bewußtsein vorhandene Erscheinungen sind und außerhalb desselben nicht existieren. Auch das Seelenleben meiner Mitmenschen ist nach vor- und einzelwissenschaftlicher Überzeugung außerhalb meines Bewußtseins wirklich; es ist für mein Bewußtsein „transzendent", existiert unabhängig von ihm. Wenn die Annahme von für mein Bewußtsein transzendenten Existenzen einen Widerspruch einschlösse, so würde dies, wie für die Dinge-an-sich überhaupt, so auch für das Seelenleben meiner Mitmenschen gelten. Es gäbe kein Seelenleben außerhalb meines Bewußtseins.

Das wird sich allerdings nicht leicht jemand einreden lassen. Der Widerspruch im Begriffe des Bewußtseins-Transzendenten ist nur scheinbar, wie wir sahen. Wie aber dem Konszientialismus kein logisches Recht vorzuliegen schien, Dinge-an-sich jenseits der körperlichen Erscheinungen anzunehmen, so scheint vom gleichen Gesichtspunkte aus auch das Recht zu fehlen, hinter den Erscheinungen der Körper unserer Mitmenschen und der Tiere etwas für mein Bewußtsein Transzendentes zu suchen, also eine Seele, Vorstellungen, Gedanken, Gefühle usw. bei Mitmenschen und Tieren anzunehmen. Die anderen Menschen sind für mich ebenso bloße Erscheinungen wie Bäume und Felsen. Suche ich hinter letzteren nichts, was außerhalb meines Bewußtseins bestände, so liegt auch bei den Mitmenschen kein triftiger Anlaß dazu vor. Die Forderung, transzendente Ursachen der Erscheinungen zu suchen, schien ja unhaltbar. Sie wird also auch nicht zu Recht bestehen, wenn ich mich im täglichen Leben verleiten lasse, hinter den Erscheinungen, welche Willenshandlungen meiner Mitmenschen darstellen, Gedanken und Entschlüsse als deren Ursachen zu suchen.

Die Annahme fremden Seelenlebens für den Konszientialisten unbegründet.

Demnach wäre, wie die selbständige Körperwelt (oder die der Körperwahrnehmung zugrunde liegende Welt von Dingen-an-sich), so auch alles Seelenleben außer meinem eigenen aus der Wirklichkeit zu streichen. Ich allein existiere (Solipsismus oder theoretischer Egoismus), und zwar nur als seelisches, als Bewußtseinswesen; denn mein Leib ist lediglich Erscheinung in meinem Bewußtsein, wie die übrigen Körper.

Eine so radikale Konsequenz ist begreiflicher Weise nur ganz selten und nur in weltabgewandter Theorie hingenommen worden, wenngleich ein Denker wie Schopenhauer sie für logisch unangreifbar erklärte. Sie zeigt uns aber,

wie eng das Gebiet des Wirklichen ist, dessen wir unmittelbar unzweifelhaft gewiß sind.

Das Gegenwärtig-Bewußte. Indessen das Gebiet ist noch enger zu begrenzen. Wir erwähnten im Vorübergehen, daß man zur Wirklichkeit im weiteren Sinne auch das vergangene und zukünftige Wirkliche rechnet, wie die Perserkriege und die für die Zukunft vorausberechneten astronomischen Ereignisse. Es ist also zu prüfen, ob in Vergangenheit und Zukunft unmittelbar und unzweifelhaft gewisse Wirklichkeiten zu finden sind.

Die Annahme einer Vergangenheit und Zukunft nicht unmittelbar gewiß.

Daß die Perserkriege und die Menschen des XXX. Jahrhunderts nicht zu den unmittelbar und unzweifelhaft gewissen Wirklichkeiten gehören, versteht sich nach dem Bisherigen von selbst; denn sie sind für mein Bewußtsein transzendent. Doch kann ich auch an der vergangenen Wirklichkeit meiner Knabenjahre zweifeln und an der Wirklichkeit der Tage, denen ich entgegensehe. Ernsthaft ist dieser Zweifel freilich nicht; dazu vertraue ich zu sehr auf die Erinnerung und auf gewisse Erwartungen. Doch prinzipiell möglich ist solcher Zweifel, ebenso wie der an der Existenz von Schmerz und Freude bei meinen Mitmenschen. Eine logische Unmöglichkeit, eine „Denkunmöglichkeit", ein innerer Widerspruch liegt nicht in der Annahme, daß alle Erinnerungen und Erwartungen mich täuschen, daß ich nur in diesem Augenblick mit oder in meinen Wahrnehmungen, Erinnerungen, Erwartungen, Gefühlen usw. wirklich bin, daß es weder eine Vergangenheit gab noch eine Zukunft geben wird. Auch auf die „objektiven" Reste der Vergangenheit kann man sich nicht berufen. Der Knoten in meiner Uhrkette ist eine gegenwärtige Erscheinung, die mir auf Grund von Gedächtnisleistungen den Gedanken an vergangene Stunden eingeben kann; der Knoten kann nur dann mein gestriges Knüpfen garantieren, wenn ich die Wirklichkeit des Gestern voraussetze, wenn ich meinem Gedächtnis, meiner Erinnerung im ganzen Vertrauen schenke.

Die Erinnerungen und die Erwartungen sind gegenwärtige Bewußtseinstatsachen, deren Wirklichkeit nicht in Frage steht. Wir können aber prinzipiell bezweifeln, ob sie m hr bedeuten, ob wir sie als Zeugen einer Vergangenheit und Propheten einer Zukunft gelten lassen dürfen, wenngleich wir dies in Leben und Wissenschaft unbedenklich voraussetzen. Die alsbald zu untersuchenden Voraussetzungen, welche hier verborgen liegen, sind uns gleichsam in Fleisch und Blut übergegangen, beherrschen, ohne daß wir ihrer inne werden, unser Denken über Vergangenes und Zukünftiges und erscheinen uns als selbstverständlich, wenn wir sie uns zum Bewußtsein bringen. Sie sind in unsere intellektuelle Organisation eingefügt, wie ein Instinkt in die Organisation des Trieblebens. Doch die Erfahrung, daß Erinnerung und Erwartung uns täuschen können, weist uns darauf hin, daß die ihnen zugrunde liegenden Voraussetzungen prinzipiell dem Zweifel ausgesetzt, daß sie nicht logisch denknotwendig sind.

Das Gegenwärtig-Bewußte und das Unzweifelhaft-Bewußte. Wieder ist zu fragen, ob wir nunmehr am äußersten Ziele des Zweifels angelangt sind. Man sollte es meinen, da selbst Skeptiker die gewisse Wirklichkeit der eigenen gegenwärtigen Bewußtseinserlebnisse anzuerkennen pflegen; scheint

es doch, daß der Sophist Protagoras diese Gewißheit, wenigstens für Wahrnehmungserlebnisse, bereits anerkannt hat. Seither ist sie von Dogmatikern und Skeptikern, von Rationalisten und Empiristen häufig betont worden.

Allerdings hat es an Widerspruch nicht ganz gefehlt, und es kann in der Tat scheinen, daß weitere Einschränkung nicht auszuschließen ist. Wenn wir auf das Geräusch eines forteilenden Eisenbahnzuges, auf den verklingenden Ton einer ungedämpften Klaviersaite achten, finden wir es überaus schwierig, den Augenblick zu bestimmen, in dem die Empfindung völlig verschwindet. Das mag zum Teil dadurch zu erklären sein, daß die schwächer werdende Empfindung nicht ganz gleichmäßig abnimmt und nach momentanem Verschwinden noch einmal wiederkehren kann. Jedenfalls wird der Gedanke nahegelegt, daß möglicherweise etwas im Bewußtsein Wirklichkeit haben kann, ohne daß diese uns unzweifelhaft gewiß ist.

Dies kann indes das Vertrauen nicht zerstören, daß ein Rot, welches ich deutlich empfinde, ein Schmerz, der mich unzweifelhaft quält usw., wirklich existieren. Was wir so sicher unmittelbar in unserem Bewußtsein vorfinden, erfassen, erfahren, erleben, was uns mit voller Sicherheit „gegeben" ist (wie man zu sagen pflegt), an dessen Wirklichkeit können wir gar nicht zweifeln, mag es nun in Empfindungen oder Gefühlen, in Gedanken oder Wollungen usw. bestehen.

Am Sicher-gegenwärtig-Bewußten findet der Zweifel seine Schranken.

Hier findet der Zweifel seine Schranken. Durch Schlüsse zu beweisen, logisch zurückzuführen, ist die Wirklichkeit des Sicher-Gegebenen allerdings nicht. Aber eine solche Rechtfertigung ist auch nicht notwendig, denn ohnehin ist die Gewißheit unmittelbar eine völlige, die hinter der der logischen Grundsätze und Schlußprinzipien nicht zurücksteht. Daß jetzt, während ich Papier ansehe, mein Weißempfinden wirklich ist, ist mir nicht minder gewiß als der Grundsatz des Widerspruchs, welcher ausschließt, „daß dasselbe demselben unter den gleichen Voraussetzungen zukomme und auch nicht zukomme".

Wenn Materialisten alles Seelische leugnen wollen, so können sie doch nicht ernsthaft die unmittelbar gewisse Wirklichkeit des Sicher-Bewußten bestreiten. Sie können nur meinen, was wir etwa als Freude und Schmerz erleben, sei seinem Wesen nach zur körperlichen Natur zu rechnen, sei deren nebensächliches Produkt oder schattenhafter Abglanz. Wer mir die Wirklichkeit meiner deutlich gegenwärtigen Wahrnehmungen, Erinnerungen und Gedanken, meiner Gefühle, Wünsche und Entschlüsse bestreiten wollte, den könnte ich nur zur Selbstbesinnung auffordern. Bliebe das erfolglos, so müßte ich seine Angriffe beiseite lassen, wie Hegels Bestreitung des Satzes vom Widerspruch; man kann mich nicht irre machen an dem, was mir schlechthin gewiß und denknotwendig ist. Hier handelt es sich um höchste, letzte Gewißheiten, die von keiner anderen überragt werden und daher auch von keiner entgegenstehenden gestürzt werden können, die vielmehr anderen Überzeugungen zur Norm, zur Stütze oder zum Verhängnis werden.

FESTSTELLUNG DER IMMANENTEN GRUNDLAGEN UND RECHTFERTIGUNG TRANSZENDENTER VORAUSSETZUNGEN. DIE VORAUSSETZUNG DES ERINNERUNGSVERTRAUENS.

Unsere Kritik vorwissenschaftlicher und wissenschaftlicher Realitätsannahmen hat die Wirklichkeit betreffende Voraussetzungen hervorgehoben, um sie als unhaltbar, überflüssig oder doch als nicht über jeden Zweifel erhaben darzutun. Was diese Kritik übrig gelassen hat, nämlich die unzweifelhafte Wirklichkeit des sicher unmittelbar Erfahrenen, ist so wenig, daß die Beschränkung auf dasselbe einer Vernichtung der Wirklichkeitserkenntnis fast gleichkommen würde. Um ihr zu entgehen, müssen manche Voraussetzungen wieder aufgenommen werden. Nachdem die Kritik einmal eingesetzt hat, kann dies nur geschehen, wenn die aufzunehmenden Voraussetzungen sich rechtfertigen lassen, sei es auch nur durch ihre Unentbehrlichkeit für unser Erkennen (und Leben).

Manche Voraussetzungen müssen wieder aufgenommen werden.

Die vorhergehende Kritik kann als Vorbereitung positiver Arbeit aufgefaßt werden, die nunmehr mit Aufstellung und Rechtfertigung der festzuhaltenden Voraussetzungen beginnt. Ausgehend vom Sicher-Gegebenen nehmen wir diese Voraussetzungen eine nach der anderen auf, um zu sehen, wie weit man mit ihnen kommt, wie sie untereinander zusammenhängen, wie sie logisch-erkenntnistheoretisch zu charakterisieren sind, und was sich zu ihrer Rechtfertigung sagen läßt.

Die Grundlage: Wirklichkeit des Sicher-Gegebenen und logische Grundsätze. Die Kritik hat vor allem das letzte Fundament der Realitätserkenntnis bloßgelegt: die unzweifelhafte Wirklichkeit des Sicher-Gegebenen, dessen wir durch unmittelbare Einsicht gewiß sind. Hier haben wir eine Erkenntnisgrundlage vor uns, die man als letzte materiale, die Objekte der Realwissenschaften betreffende Voraussetzung ansehen darf. Denn die sicher-gegebenen unmittelbaren Bewußtseinstatsachen sind als solche von den Realwissenschaften, etwa von der Psychologie, zu bearbeiten; (sofern man bewußte Erscheinungen von bewußten Funktionen trennt, wären erstere eventuell nach der Aufforderung Stumpfs einer von der Psychologie zu scheidenden Phänomenologie zuzuweisen).

Mit den logischen Grundsätzen und den Prinzipien des deduktiven Schließens kommen wir nicht weiter.

Wenn wir nun keine weiteren Voraussetzungen machen und nur noch die logischen Grundsätze (der Identität, des Widerspruchs usw.), einschließlich etwa der Prinzipien der deduktiven Schlüsse (der „Folgerungsaxiome") heranziehen wollten (wie z. B. den Satz: sind zwei Gegenstände einem dritten gleich, so sind sie auch untereinander gleich), so wären wir bald an der Grenze des Er-

reichbaren. Man könnte, indem man die sicher gegebenen Bewußtseinstatsachen ins Auge faßt, nur sagen: Dies ist wirklich, das ist wirklich usw. Man könnte nicht einmal von wirklichen Empfindungen und Gefühlen sprechen. Denn um etwas Erlebtes als Gefühl auffassen zu können, muß man mehr von diesem Etwas erkennen, als lediglich seine Wirklichkeit; man muß den Sinn des Wortes Gefühl verstehen und auf das Erlebte anwenden können, was wiederum Weiteres logisch voraussetzt.

Bei Bearbeitung jener Urteile: dies ist wirklich ..., mit Hilfe der logischen Grundsätze und deduktiven Schlußprinzipien ist nichts Nennenswertes zu erreichen. Nach dem Identitätssatze in der oben (S. 45) zitierten Erdmannschen Fassung dürfen wir sagen: Dieses Wirkliche ist mit sich identisch; auf Grund des Prinzips, daß doppelte Verneinung sich aufhebt, ergibt sich: Dieses ist wirklich und also nicht nichtwirklich. Solche Ergebnisse der „logischen Bearbeitung" sind so armselig, daß wir uns nach weiteren Voraussetzungen umsehen müssen.

Fortsetzung: Voraussetzung der Verschiedenheits-, Ähnlichkeits- und Gleichheitserkenntnis im Sicher-Gegebenen. Dabei brauchen wir zunächst das Sicher-Gegebene noch nicht zu überschreiten. Es gibt weitere unmittelbar gewisse „materiale" Erkenntnisse, die ganz im Immanenten, im gegenwärtig sicher Bewußten bleiben.

Hier ist zunächst die Erkenntnis der Verschiedenheit gegenwärtiger klar bewußter Erlebnisse anzuführen. Wenn ich eine Weiß- und eine Schwarzempfindung gleichzeitig erlebe, so erkenne ich die Verschiedenheit dieser Bewußtseinstatsachen unmittelbar mit völliger Sicherheit. Ebenso kann ich unmittelbar die Ähnlichkeit zweier gegenwärtig empfundener Rotnuancen feststellen. Ob zwei gegenwärtig erlebte Bewußtseinsinhalte (z. B. Tastempfindungen), die mir den Eindruck der Gleichheit machen, tatsächlich völlig gleich sein müssen, ist eine strittige Frage. Jedenfalls können wir oft die zum mindesten angenäherte Gleichheit zweier gegenwärtiger Bewußtseinstatsachen (z. B. zweier Schwarzempfindungen) mit unmittelbarer, größter Sicherheit aussagen.

Es gibt unmittelbar gewisse Urteile über Verschiedenheit, Ähnlichkeit und (angenäherte) Gleichheit im Sicher-Gegebenen.

Es gibt also unmittelbar gewisse Urteile über Verschiedenheit, Ähnlichkeit und (angenäherte) Gleichheit im Gebiete des Sicher-Gegebenen.

Es ist eine andere Frage — die in der Naturerkenntnistheorie unentschieden bleiben darf —, ob alle Verschiedenheiten, Ähnlichkeiten und Gleichheiten im Immanenten mit völliger, unmittelbarer Sicherheit erkannt werden können. Es gibt schwerwiegende Gründe für die Ansicht, daß die Verschiedenheit zweier gleichzeitiger Bewußtseinstatsachen (z. B. Farbempfindungen) zu klein sein kann, um sicher unmittelbar erfaßt zu werden. (Die Frage ist natürlich wohl von der anderen zu trennen, ob die Verschiedenheit zweier Farbreize zu klein sein kann, um erkennbar zu sein; letztere Frage ist sofort bejahend zu beantworten.) Das Problem ist nahe verwandt mit dem bereits berührten, ob wir die Wirklichkeit aller gegenwärtig bewußten Erlebnisse unmittelbar völlig sicher erkennen können, oder ob nur ein Teil des Gegenwärtig-Bewußten als

sicher-gegeben bezeichnet werden darf, weil etwa ganz schwache Empfindungen im Bewußtsein vorhanden sein mögen, ohne daß ihre Wirklichkeit mit unmittelbarer Sicherheit konstatiert werden kann. Für die Erkenntnistheorie der Psychologie (bzw. auch der Phänomenologie im Sinne Stumpfs) und für die Psychologie selbst sind solche Fragen sehr wichtig; sie kommen z. B. bei der Diskussion über das Unbewußte, speziell etwa darüber, ob und in welchem Sinne von unbewußten Empfindungen gesprochen werden kann, in Betracht. — Jedenfalls sind das Vorhandensein eines Erlebnisses bzw. eines Unterschiedes im Bewußtsein und die Konstatierung des Erlebnisses bzw. Unterschiedes nicht identisch, und darum ist es eine sinnvolle Frage, ob diese Konstatierung immer sicher möglich und zutreffend sein müsse. Wie dem aber auch sein mag, wenn ein Erlebnis so ausgesprochen bewußt ist wie ein heftiger Schmerz, bzw. wenn ein Unterschied so klar im Bewußtsein vorliegt wie der zwischen Schwarz- und Weißempfindung beim Anblick bedruckten Papieres, so ist an der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Konstatierung des Erlebten kein Zweifel möglich. Wir erfassen, „erschauen" ja das Konstatierte unmittelbar; die Konstatierung ist unmittelbar evident.

Bedeutung dieser Urteile.

Die Möglichkeit, in einem Gebiete von Denkgegenständen (hier dem der sicher gegebenen Bewußtseinstatsachen) Unterschiede, Ähnlichkeiten und (angenäherte) Gleichheiten feststellen zu können, ist für die Erkenntnis des Gebietes von grundlegender Bedeutung. Wenn ein Erlebnis als Gefühl aufgefaßt (und bezeichnet) wird, so setzt dies logisch Erkenntnis der Gleichheit bzw. Ähnlichkeit mit anderen Erlebnissen (Gefühlen) voraus. Die Zusammenfassung und Trennung nach Gleichheit bzw. Ähnlichkeit und Verschiedenheit der Denkgegenstände ist eine fundamentale Aufgabe des Erkennens, insbesondere der Wissenschaft. Solche Zusammenfassung und Trennung bringen Ordnung in die wirre Fülle des Gegebenen und schaffen die Grundlage für unsere Begriffsbestimmungen.

Auf Grund der bisher anerkannten Voraussetzungen gewinnen wir in bezug auf gegenwärtig bewußte Erlebnisse Erkenntnisse von der Form: Dies ist wirklich, ist jenem (annähernd) gleich bzw. ähnlich, ist von jenem verschieden. Bei der logischen Bearbeitung gemäß den vorausgesetzten logischen Grundsätzen bzw. den Prinzipien des deduktiven Schließens kommen wir nicht zu Ergebnissen anderer Art. Nach dem Prinzip, daß zwei Objekte, die einem dritten (fast) gleich sind, auch untereinander (annähernd) gleich sein müssen, kann ich etwa schließen: dies ist jenem, jenes dem (angenähert) gleich, also ist auch dies dem (ungefähr) gleich.

Wenn man von Erkenntnissen ausgeht, die auf das Gegenwärtig-Gegebene beschränkt sind, so kann man mittels deduktiver Schlüsse nicht über die Grenzen dieses Gebietes hinausgelangen. Denn im Ergebnis, im Schlußsatz eines Deduktionsschlusses kann nie von Denkgegenständen die Rede sein, die von den Prämissen des Schlusses nicht berührt werden. Selbst wenn man voraussetzt, die gegenwärtigen Bewußtseinstatsachen wären vom Subjekte in jeder Hinsicht

völlig erkannt, kann der Umfang des Gegenwärtig-Bewußten nicht ohne neue Voraussetzungen überschritten werden.

Die Möglichkeit, im Gegenwärtig-Bewußten Unterschiede und (angenäherte) Gleichheiten mit unmittelbarer Sicherheit festzustellen, wird weiter unten — bei der Frage nach der Erkennbarkeit der Außenwelt — für uns von Bedeutung sein; wir werden sehen, wie von Unterschieden in der Sinneswahrnehmung auf Unterschiede in der Welt der Dinge-an-sich zu schließen ist. —

Hier braucht uns das Problem der Erkennbarkeit des Gegenwärtig-Bewußten nicht weiter zu beschäftigen, so daß wir sogleich zur Betrachtung transzendenter Voraussetzungen übergehen können.

Erkenntnisnotwendigkeit transzendenter Voraussetzungen. Der Mensch kann sich nicht auf die Erkenntnis dessen beschränken, was ihm im Augenblicke gerade bewußt ist; solche Beschränkung würde einer Vernichtung alles Wissens fast gleichkommen, jedenfalls aber Verzicht auf alle Wissenschaften bedeuten.

Erkenntnisnotwendigkeit des Erinnerungsvertrauens.

Selbst mathematische Wissenschaften, deren Urteile inhaltlich nichts mit zeitlichen Verhältnissen zu tun haben, können vom Menschen nicht wirklich betrieben werden ohne Vertrauen auf die Erinnerung. Im Prinzip ist freilich ein Wesen denkbar, das mit der Fähigkeit ausgestattet wäre, im gegenwärtigen Momente die Gesamtheit der Definitionen, Axiome, Beweise, Beziehungen usw. zu überschauen, die eine mathematische Disziplin bilden. Für ein solches Wesen bliebe Mathematik als Wissenschaft möglich, auch wenn es seinen Erinnerungen keinen Glauben schenken wollte. Der Mensch jedoch muß bei seinen mathematischen Überlegungen auf sein Gedächtnis bauen, muß voraussetzen, daß seine Erinnerung ihn nicht täuscht, wenn er einen früher bewiesenen Satz zu neuer Beweisführung benutzen will. Ohne die über das Gegenwärtig-Bewußte hinausgreifende (in bezug auf das Gegenwärtig-Bewußte transzendente) Voraussetzung, die in dem Vertrauen auf die Erinnerung liegt, wäre für uns Mathematik nicht möglich, obgleich diese Voraussetzung den Sätzen der Arithmetik oder Geometrie nicht als logische Prämisse zugrunde liegt.

In den Realwissenschaften hingegen liegen die Verhältnisse offensichtlich derart, daß den Urteilen Voraussetzungen logisch zugrunde liegen, welche über das Gegenwärtig-Gegebene hinausgehen. Wollte ich mich auf die Erkenntnis dessen beschränken, was gegenwärtig in meinem Bewußtsein an Erlebnissen sich findet, so wären damit die Geschichte und die Naturwissenschaft ohne weiteres ausgeschlossen. Auch die psychologische Wissenschaft wäre undurchführbar; sie will ja z. B. die Entstehung und zeitliche Abfolge des seelischen Geschehens untersuchen und muß also über die gegenwärtigen Erlebnisse hinaus- bzw. zurückblicken in die Vergangenheit.

Für die Realwissenschaften, insbesondere für das hier in Betracht kommende Naturerkennen sind also weitere, in bezug auf das Gegenwärtig-Gegebene „transzendente“ Voraussetzungen unentbehrlich. Daß wir mit den denknotwendigen Grundsätzen der Logik nicht über das Gegenwärtig-Gegebene hinauskommen, wurde schon dargelegt. Die nun aufzunehmenden unentbehrlichen

Voraussetzungen sind überhaupt nicht denknotwendig, nicht so unmittelbar evident wie der Satz vom Widerspruch; wir bezeichnen sie als wissens- oder erkenntnisnotwendig.

Wollte man sich gegen die Aufnahme solcher Voraussetzungen sträuben und etwa die betreffenden Wissensgebiete völlig preisgeben, so würde man zugleich auf das Leben verzichten müssen. Der Mensch wird durch Instinkte nicht hinreichend in seinem Tun geleitet, um jede Einsicht in die Zukunft entbehren zu können. Das Vorausschauen beruht aber auf dem Zurückschauen, auf der Erkenntnis der Vergangenheit.

Wir wenden uns also zunächst derjenigen Voraussetzung zu, die der Erkenntnis des Vergangenen zuletzt zugrunde liegt.

Erste transzendente Voraussetzung: das Vertrauen auf die Erinnerung. Unter den Bewußtseinstatsachen der Gegenwart können sich Erinnerungen befinden. So bezeichnen wir Bewußtseinsinhalte, die wir als Wiedervergegenwärtigungen eines Vergangenen auffassen. Wenn ich mich in diesem Augenblicke des vergangenen Tages erinnere, so ist meine Erinnerung zunächst ein gegenwärtiges Erlebnis; aber sie ist mehr für mich, sie gibt mir zugleich ein Nicht-Gegenwärtig-Erlebtes, ein Vergangenes, den gestrigen Tag, wieder. Auf Grund der Erinnerung urteile ich über dies Nicht-mehr-Gegenwärtige. — Man spricht von einer „Reproduktion" vergangener Erlebnisse. Hier bleibe im übrigen unerörtert, wie sich Reproduktion und Erinnerung zu einander verhalten, nur sei betont, daß bloße Reproduktion, bloßes Wiederauftauchen eines Erlebnisses aus dem unbewußten Besitz unseres Gedächtnisses jedenfalls noch keine Erinnerung darstellt. Das Reproduzierte muß überdies uns ein Vergangenes repräsentieren; diese Beziehung, diese „Intention" auf das Vergangene muß hinzukommen. Erinnere ich mich mit anschaulicher Klarheit des gestrigen Sonnenunterganges, so ist nicht nur die Vorstellung desselben in mir lebendig, „reproduziert", sondern ich meine, indem ich diese Vorstellung habe, das gestrige Erlebnis. Ich sehe gleichsam durch die reproduzierte Vorstellung hin auf das vergangene Originalerlebnis — um einem Ausdruck von Th. Lipps hier eine etwas veränderte Wendung und Anwendung zu geben —. Kant hat gesehen, daß zur Reproduktion noch etwas hinzukommen müsse und von Rekognition gesprochen; B. Erdmann hat diesen Ausdruck übernommen, ohne jene speziellen Voraussetzungen zu akzeptieren, die bei Kant damit zusammenhängen. — Im übrigen hängt die psychologische Interpretation der Erinnerung von der Auffassung ab, die man sich bezüglich der Psychologie des Denkens oder des Wissens bildet. Da die auf diesem Gebiete herrschenden Differenzen unsere erkenntnistheoretischen Überlegungen nicht berühren, können sie hier unerörtert bleiben.

Erinnerung und Reproduktion.

Die Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens ist nicht denknotwendig.

Die Annahme, daß Erlebnisse, welche ich als Erinnerungen auffasse, mir die Kenntnis eines Vergangenen ermöglichen, ist nicht eigentlich denknotwendig, so selbstverständlich sie erscheint. Ich kann ohne Schwierigkeit denken — wenn auch nicht ernsthaft glauben —, daß meine „Erinnerung" mich stets täuscht, daß sie gar nicht ein Vergangenes wiedergibt, daß sie lediglich die Bedeutung

eines gegenwärtigen Erlebnisses hat. Es kommt ja vor, daß ich eine Erinnerung zu haben glaubte, während es sich doch nur um eine Einbildung handelte, die ich fälschlich als Erinnerung, als Repräsentation eines Vergangenen, ansah.

Man könnte einwenden, die Annahme, daß die Erinnerungen vergangene Erlebnisse uns richtig wiederzugeben vermögen, stelle ein analytisches Urteil dar und sei als solches denknotwendig gewiß und apriorisch. Es liege im Begriff der Erinnerung, daß sie ein Vergangenes repräsentiere, und dieses könne daher nicht ohne Widerspruch verneint werden, sei also denknotwendig und *a priori* sicher. Wenn man aber die Erinnerung als Erlebnis, welches ein Vergangenes wiedergibt, definiert, so fragt es sich eben, ob es tatsächlich solche Erlebnisse gibt, ob diejenigen, denen wir ohne weiteres die Repräsentation eines Vergangenen zutrauen, dies Vertrauen verdienen. Die Annahme, daß überhaupt durch gewisse gegenwärtige Erlebnisse ein Vergangenes wiedergegeben werde, bleibt hinzunehmen; sie kann nicht dadurch zu einer denknotwendigen gemacht werden, daß man den Begriff der Erinnerung passend definiert. Sie ist nicht als analytisches Urteil aufzufassen.

Die in Frage stehende Annahme ist ferner nicht durch deduktives Schließen oder Beweisen aus den Erkenntnissen über das Gegenwärtig-Gegebene ableitbar, da wir mit Deduktionsschlüssen überhaupt nicht über das Gebiet des Gegenwärtig-Bewußten hinausgelangen, wenn nicht neue Voraussetzungen aufgenommen werden.

Endlich kann jene Annahme auch nicht auf die Erfahrung gestützt werden. Die unmittelbare Erfahrung ist im Gegenwärtig-Bewußten gegeben; dies kann die Gültigkeit der fraglichen Annahme nicht garantieren. Doch auch die Vergangenheitserfahrung ist dazu unfähig. Denn vom Gegenwärtig-Erfahrenen komme ich nicht ohne Erinnerung auf frühere Erfahrungen. Auf letztere kann ich mich also nicht stützen, ohne der Erinnerung bereits zu vertrauen. Daß „objektive" Zeugnisse des Vergangenen von diesem nur Kunde geben, wenn sie auf Grund von Erinnerungen als solche aufgefaßt werden dürfen, wurde schon dargelegt. Sie ist nicht auf die Erfahrung zu stützen.

Die Annahme, daß gewisse Erlebnisse mir die Kenntnis eines Vergangenen ermöglichen, ist also weder denknotwendig apriorisch noch empirisch sicherzustellen. Wir müssen sie als für das Erkennen unentbehrlich, als erkenntnisnotwendige apriorische Voraussetzung ohne Beweis hinnehmen. Es handelt sich um ein synthetisch-apriorisches Urteil.

Psychogenese der Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens. Man wird fragen, wie wir zu einer solchen weder deduktiv noch durch Erfahrung stützbaren und auch nicht unmittelbar denknotwendigen Voraussetzung kommen, wie sie uns so selbstverständlich scheinen kann. Darauf wäre zu antworten, daß es mit unserer seelischen Organisation gegeben, in ihr begründet ist, wenn wir ohne weiteres uns durch gewisse Erlebnisse, die Erinnerungen, von der Vergangenheit Kunde geben lassen. Erst wenn wir darüber nachdenken, wie dies geschieht, daß ein gegenwärtiges Erlebnis von einem Vergangenen Nachricht gibt, kommt uns die Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens oder

Sie ergibt sich bei der Betrachtung der Betätigung unserer seelischen Organisation.

der Erinnerungsdeutung zum Bewußtsein. So ergibt sich ein apriorisches Urteil durch Betrachtung unserer intellektuellen Organisation bzw. der aus ihr resultierenden Betätigung. Bereits Leibniz hatte in seiner Weise auf diese Quelle des Apriorischen hingewiesen. Ein logischer Beweis für die Berechtigung des Erinnerungsvertrauens ist damit nicht gegeben. Unsere psychische Organisation könnte derart sein, daß ihre Betätigung bei der vermeintlichen Erfassung eines Vergangenen durchaus in die Irre führte. Wir müssen schlechthin voraussetzen, daß dies nicht der Fall ist, müssen vertrauensvoll unsere intellektuelle Organisation betätigen, wenn wir leben und Erkenntnis sammeln wollen. Wir können nicht alles, was bezweifelt werden kann, aus den Voraussetzungen des Erkennens ausschließen, wie Descartes es wollte.

Nachträglich, auf Grund von Erkenntnissen, die ohne das Erinnerungsvertrauen nicht möglich wären, kann man verstehen, daß wir gar nicht leben würden, wenn dies Vertrauen schlechthin irreführte, wenn wir nicht aus der richtig erfaßbaren Vergangenheit für die Zukunft lernen könnten. Die Wissenschaft, die ohne das Erinnerungsvertrauen ganz unmöglich wäre, wird vielleicht unter Voraussetzung desselben einmal zeigen, wie die Wiedergabe eines Vergangenen durch die Erinnerung möglich ist; mancherlei psychophysiologische Versuche, dies zu erklären, konnten allerdings eingehender Prüfung nicht standhalten. Jedenfalls kann aus derartigen Überlegungen die logische Berechtigung der Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens nicht abgeleitet werden, weil eine solche Ableitung das zu Begründende voraussetzen würde.

Leistung der bisher anerkannten Prinzipien.

Das durch die Voraussetzung eröffnete Erkenntnisgebiet. Durch Anwendung der logischen Grundsätze und deduktiven Schlußprinzipien auf diejenigen Erkenntnisse, die wir nach Einführung der neuen Voraussetzung gelten lassen dürfen, kommen wir über das gegenwärtig-gegebene und durch Erinnerung vermittelte Gebiet der eigenen, in Vergangenheit und Gegenwart erlebten Bewußtseinstatsachen nicht hinaus. Doch kann diese Anwendung Bedeutung gewinnen, wenn etwa auf Grund von Erinnerungen Zweifel entstehen, welches von zwei sich widersprechenden Erlebnissen wirklich war. Ist meine Erinnerung unsicher, ob ich gestern spazieren ging oder nicht, neige ich auf Grund von unsicheren Erinnerungen zu der einen wie zu der anderen Überzeugung, so sagt mir der Satz vom Widerspruch, daß nicht beide zu Recht bestehen können. Im einzelnen ist das Vertrauen zur Erinnerung oft schwach, jedenfalls aber als nicht denknotwendig stets den logischen Grundsätzen unterzuordnen.

Es braucht nur angedeutet zu werden, daß auf Grund des Erinnerungsvertrauens Unterschiede, Ähnlichkeiten und (angenäherte) Gleichheiten im Gebiete des Früher- und Gegenwärtig-Bewußten festgestellt werden. Die als verschieden, ähnlich oder (angenähert) gleich beurteilten Tatsachen können gleichzeitig, aber auch nacheinander erlebt werden bzw. erlebt worden sein. So wird es möglich, die Wiederholung von (angenähert) gleichen Tatsachen und Zusammenhängen innerhalb des eröffneten Gebietes zu konstatieren und damit Regelmäßigkeiten des Geschehenen in meinem vergangenen und gegenwärtigen Bewußtsein zu erkennen. Dies ist für das Folgende (z. B. für die

Frage nach der Regelmäßigkeit bzw. Gesetzmäßigkeit in weiteren Gebieten des Wirklichen und für das Problem der Erkennbarkeit von Veränderungen in der Außenwelt) von großer Bedeutung.

Bei Beschränkung auf die bisher aufgenommenen Voraussetzungen ergeben sich nur Erkenntnisse innerhalb der Grenzen des dem Individuum früher und gegenwärtig Bewußten. Auch dies Gebiet ist keinesfalls vollständig erkennbar. Die Erinnerung selbst bezeugt, daß im Früher-Bewußten Erlebniskomplexe wirklich waren, die nicht vollständig erfaßbar sind. Vielfach ist die Erkenntnis des Vergangenen lückenhaft und mehr oder weniger unsicher; dem Erinnerungswissen fehlt die absolut sichere, unmittelbare Evidenz, welche die logischen Grundsätze und gewisse Erkenntnisse im Gebiete des Gegenwärtig-Gegebenen auszeichnet.

(Wir haben der Einfachheit halber außer Betracht gelassen, daß vergangene Erlebnisse von unserer Seele in verschiedener Weise festgehalten werden. Die erste Silbe eines Wortes ist uns nicht bereits völlig entschwunden, während wir die zweite hören. Aber auch das „unmittelbare Behalten“ für eine Reihe von Sekunden unterscheidet sich nicht unwesentlich von dem dauernden Festhalten eines Erlebnisses. Jedoch dürfen solche Unterschiede, so bedeutsam sie für die Psychologie sind, hier außer Betracht bleiben, da sie keine prinzipielle Änderung der obigen Überlegungen bedingen.)

DIE REGELMÄSSIGKEITSVORAUSSETZUNG.

Das Erkennen der Zukunft des eigenen Bewußtseins und die Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Man kann das Erkennen nicht auf eigene vergangene und gegenwärtige Bewußtseinstatsachen beschränken; dies müßte aber geschehen, wenn keine neuen Voraussetzungen aufgenommen würden.

Das Wissen um die Zukunft des eigenen Bewußtseins.

Nachdem von der Erkenntnis der vergangenen Erlebnisse gesprochen wurde, liegt die Frage nahe, welche Voraussetzung (ev. Gruppe von Voraussetzungen) den Ausblick in die Zukunft des eigenen Bewußtseinslebens ermöglicht. Ich weiß, daß auf meine gegenwärtigen Wahrnehmungen andere folgen werden, kann auch allerhand Aussagen über diese zukünftigen Wahrnehmungen machen; ich vermag z. B. vorauszusagen, daß auf die Wahrnehmung der Helligkeit des Tageslichtes die der Dunkelheit der Nacht folgen wird.

Ich setze also voraus, daß die Zeit in Zukunft weiter fließen wird, und daß ich das Zukünftige in gewissem Umfange erkennen kann. Diese Annahmen sind für den Menschen notwendig zum Leben. Der Ausblick in die Zukunft ermöglicht die Vorbereitung, die Sorge für dieselbe; ohne diese aber würde der Mensch zugrunde gehen.

Das Vorauswissen des Zukünftigen ruht auf der Erkenntnis des Vergangenen. Streng regelmäßig ist auf das Heute, nachdem es zum Gestern geworden, ein neues Heute gefolgt; so wird auch auf das gegenwärtige Heute eine Zeit folgen, die zur Gegenwart werden wird, wenn das Gegenwärtige ein Vergangenes geworden ist. Wir nehmen an, daß der Strom der Zeit nicht enden, sondern weiter fließen wird, wie er ja auch immer wieder weiter eilte, als das, was heute Vergangenheit ist, noch Gegenwart war. Die Überzeugung, daß eine Zukunft kommen wird, ruht auf dem bisherigen Erleben der in jedem Augenblick regelmäßig sich wiederholenden Abfolge von Vergangenheit und Gegenwart; wir setzen voraus, daß diese regelmäßige Abfolge weiter bestehen werde.

Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Ich setze also ein (Noch-)Nicht-Erlebtes, die Zukunft, zum Bisher-Erlebten hinzu, indem ich voraussetze, daß eine Regel, die im Bisher-Erlebten gilt, sich darüber hinaus bewähren werde.

Dieses Vertrauen auf die weitere Bewährung von im Bisher-Erlebten feststellbaren Regeln gibt uns aber auch einen Einblick in das, was die kommenden Zeiten ausfüllen wird; es ermöglicht das Vorherwissen zahlreicher besonderer zukünftiger Erlebnisse. Wie bisher regelmäßig auf die Wahrnehmung der Tageshelle die der nächtlichen Dunkelheit folgte, so wird auch in Zukunft diese Regel im Wechsel meiner Wahrnehmungen weiter gelten. Offenbar wäre

jede Erkenntnis des Zukünftigen unmöglich, wenn die Zusammenhänge und Regeln, die sich im Bisher-Erlebten fanden, über dieses hinaus allesamt nicht mehr gelten würden. Die Regelmäßigkeiten im Strome des Geschehens und die Voraussetzung ihres Fortbestehens ermöglichen allein ein Wissen um das Zukünftige.

Im Bisher-Erlebten, in meiner Erfahrung, finde ich gewisse Regelmäßigkeiten. Daß aber diese Regelmäßigkeiten sich über das Bisher-Erlebte hinauserstrecken, auch in Zukunft bestehen bleiben, kann ich nicht der Erfahrung entnehmen; denn die Zukunft und das, was sie uns bringt, sind noch *nicht erfahren*. Wenn also das Sich-Erstrecken der Regelmäßigkeiten über das Bisher-Erlebte hinaus angenommen wird, so handelt es sich um eine Voraussetzung. Diese *vermehrt* die durch Erinnerung und unmittelbares Erleben gesicherte *Regelmäßigkeit* des Geschehens, indem sie letzteres durch Hinzufügung von neuen Geschehnissen bereichert.

Es muß erwähnt werden, daß die Voraussetzung von Regelmäßigkeiten auch die Erkenntnis des Bisher-Erlebten zu vervollständigen vermag. Aus der Erinnerung weiß ich um das Erlebnis meiner Immatrikulation. Auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung nehme ich an, daß ich am gleichen Tage einen Abend, eine beginnende Nacht, mein Zubettgehen usw. erlebt habe. So können wir vielfach die Lücken, welche unsere Erinnerung in der Erkenntnis des vergangenen Erlebens läßt, auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung beseitigen. Zuweilen korrigieren wir auch Erinnerungsmeinungen, wenn sie oft bewährten Regelmäßigkeiten widersprechen. Doch brauchen wir darauf hier nicht einzugehen.

Auf Grund der bisher aufgenommenen Voraussetzungen sind Erkenntnisse im Gesamtbereiche meines individuellen vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Bewußtseins möglich.

Das Erkennen des für das individuelle Bewußtsein Transzendenten und die Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Weder das vorwissenschaftliche Erkennen des praktischen Lebens noch die Wissenschaft schränkt unser Wissen auf den Strom der eigenen Bewußtseinserlebnisse ein. In der Wissenschaft und im Leben wird vorausgesetzt, daß auch andere Menschen und Tiere bewußte Erlebnisse haben, und daß überdies zahllose Dinge existieren, die nicht im Bewußtsein eines Menschen oder Tieres sich finden.

Diese Voraussetzungen, welche die Grenzen des individuellen Bewußtseins überschreiten, stehen mit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung im Zusammenhang. Letztere trat uns zunächst in der Annahme entgegen, daß zu dem Gegenwärtig-Gegebenen und Erinnerten noch anderes (in Zukunft und Vergangenheit) hinzuzusetzen sei nach Maßgabe von Regelmäßigkeiten, die im Gegenwärtig-Gegebenen und Erinnerten vorzufinden sind. Betrachten wir noch einmal, wie in die durch Erinnerungen vermittelte Vergangenheit des eigenen Bewußtseinslebens Erlebnisse auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung eingefügt werden! Ich erinnere mich nicht meines Erlebens des Winters, der meinem ersten, in der Erinnerung noch haftenden Schulsemester voranging; ich nehme aber an, daß

ich ihn erlebte, und zwar auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Ich füge also zu dem anderweitig (hier durch Erinnerung) gesicherten Geschehen etwas hinzu, und zwar so, daß dadurch das Gesamtgeschehen regelmäßiger wird. Dabei bleibe ich hier allerdings im Strome des eigenen Bewußtseins.

Das für mein Bewußtsein Transzendente und die Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Wenn ich im Leben und in der Wissenschaft Realitäten (z. B. Körper) annehme, die nicht in meinem Bewußtseinsstrome sich finden, so wird auch durch diese Annahme zur bisher von mir anerkannten Wirklichkeit etwas hinzugefügt, und zwar so, daß dadurch die Gesamtwirklichkeit regelmäßiger wird. Nähme ich an, es gebe in der Welt nichts als mein Bewußtsein, so enthielte das Weltgeschehen zwar mancherlei Regelmäßigkeiten, aber vieles in ihm würde sich keiner Regel fügen. Letzteres würde insbesondere von zahlreichen Sinneswahrnehmungen gelten. Beschränke ich mich auf meine Bewußtseinserlebnisse, so bricht ein plötzliches, lautes Geräusch etwa in diesem Augenblick in deren Zusammenhang ein, ohne daß vorher oder zugleich ein anderes Etwas ins Bewußtsein einträte, mit dem jenes Geräusch nach einer Regel zusammenhinge. Nehme ich aber Dinge außerhalb meines Bewußtseins an, so wird der Sachverhalt ein anderer. Ich kann dann jenes Geräusch als regelmäßige Folge, als Wirkung außerbewußter Vorgänge (Ursachen), etwa des Abladens von Brettern auffassen.

Sollen also bestimmte Regeln das Auftreten aller Sinneswahrnehmungen beherrschen, so müssen wir außerhalb des (zwischen Geburt und Tod verfließenden — vgl. S. 163f. —) individuellen Bewußtseins Realitäten annehmen. Es fragt sich nun, wie diese Realitäten genauer zu bestimmen sind, bzw. ob eine solche genauere Bestimmung überhaupt möglich ist, oder ob jene Realitäten gänzlich unerkennbare „Dinge-an-sich" bleiben müssen.

Falls außerbewußte Realitäten Regelmäßigkeit in das Auftreten der Sinneswahrnehmungen bringen sollen, müssen sie dementsprechend bestimmt werden. Verschiedenen Wahrnehmungserlebnissen — z. B. einem rasselnden Geräusch einerseits und einem Glockenton andererseits — müssen auch verschiedene außerbewußte Vorgänge zugrunde gelegt werden. Damit wäre also Verschiedenheit in der Welt der außerbewußten Realitäten (unter günstigen Umständen) feststellbar; diese Welt der für mein Bewußtsein transzendenten Realitäten-an-sich wäre nicht schlechthin unerkennbar. Wir kommen darauf ausführlicher zurück.

Aber nicht nur die Voraussetzung einer der Sinneswahrnehmung zugrunde liegenden, zum mindesten teilweise erkennbaren „Außenwelt" hängt derart mit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung zusammen. Im besonderen stützt sich auf die gleiche Voraussetzung unsere Überzeugung, daß auch unsere Mitmenschen (und andere Lebewesen) Bewußtsein und spezieller Vorstellungen, Gefühle usw. erleben. Für mich und meine Erfahrung ist ja das Bewußtsein eines anderen Menschen, sein Denken, Fühlen usw. schlechthin transzendent; es liegt ganz außerhalb der Schranken meines Bewußtseins. Ich kann wohl ein übereinstimmendes Gefühl, nie aber das Gefühl selbst erleben, welches in einem Mitmenschen lebendig ist. Fühle ich mit ihm Trauer, so existieren zwei geson-

Das Seelenleben der Mitmenschen.

derte Gefühle, seine Trauer und meine Trauer. Mein Wissen um das Bewußtseinsleben eines anderen beruht nie auf direktem Erleben seiner eigenen Gedanken, Gefühle usw., sondern muß irgendwie vermittelt sein. Diese Vermittlung übernehmen die körperlichen, in der Sinneswahrnehmung zu erfassenden Äußerungen des Seelenlebens, wie Sprechen, Lachen, Weinen usw. Doch nur auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung kann ich durch diese Vorgänge Einblick in das Bewußtseinsleben der Mitmenschen bekommen. Nur sofern Bewußtseinserlebnisse und wahrgenommene Äußerungen *regelmäßig* zusammenhängen — wie Heiterkeit und Lächeln —, können die letzteren die ersteren erkennbar machen. Die Erkenntnis ruht auf der Erfahrung, daß bei uns selbst ein bestimmter Bewußtseinsvorgang mit einer bestimmten Äußerung verbunden ist, und auf der Voraussetzung, daß diese Verbindung nicht nur individuell ist, sondern eine *Regel* darstellt, welche auch für die Mitmenschen Gültigkeit hat.

Der Analogieschluß.

Analogieschluß, Induktionsschluß, Kausalprinzip und Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Auf Grund der körperlichen Äußerungen erkennen wir viele seelische Regungen unserer Mitmenschen sofort, ohne bewußte Schlußprozesse vollziehen zu müssen; wir haben den Eindruck, den Schmerz des Weinenden geradezu zu sehen. Wollen wir aber ein Urteil über einen Bewußtseinsvorgang in der Seele eines Mitmenschen logisch rechtfertigen, so werden wir uns zuletzt auf einen Analogieschluß stützen müssen. Das Lachen ist bei mir Äußerung gewisser Bewußtseinszustände; wenn ich nun wahrnehme, daß ein Mitmensch in entsprechender Weise lacht, so schließe ich, daß dies auch bei ihm entsprechende Bewußtseinszustände äußert.

Wie dieser Schluß die Annahme eines regelmäßigen Zusammenhanges zwischen Äußerung und Bewußtseinszustand voraussetzt, so steht hinter allen Analogieschlüssen die Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Auch der Schluß, daß heute wieder auf den Tag die Nacht folgen wird, weil es gestern und vorgestern geschah, ist ein solcher Analogieschluß.

Der Induktionsschluß.

Mit den Analogieschlüssen sind die Induktions- oder Verallgemeinerungsschlüsse eng verwandt. Nachdem man wiederholt gesehen hat, daß Quecksilber sich ausdehnt, wenn seine Temperatur von 0^0 auf 100^0 erhöht wird, nimmt man an, daß dies (nicht nur beim nächsten gleichen Versuch, sondern) in *allen* Fällen geschieht. Hinter dem Induktionsschluß steht natürlich die Voraussetzung, daß die beobachtete Regelmäßigkeit weiter gilt, für *alle* nicht (und noch nicht) beobachteten Fälle.

Kausalprinzip und Kausalschlüsse.

Die Verallgemeinerung der Beobachtung, daß Quecksilber bei Erwärmung von 0^0 auf 100^0 sich ausdehnt, kann man auf das Kausalprinzip stützen. Wir müssen weiter unten diesem für die Realwissenschaften so überaus wichtigen Prinzip eine eingehendere Besprechung widmen. Indem wir uns spätere Bestimmungen vorbehalten, dürfen wir hier vorläufig eine Auffassung des Kausalprinzips zugrunde legen, die jedenfalls der vorherrschenden Überzeugung der Vertreter realwissenschaftlicher Forschung entspricht. Nach derselben fordert das Kausalprinzip für jeden Vorgang eine Ursache und sagt, daß die gleichen Ursachen immer wieder die gleichen Wirkungen haben, Ursachen und Wirkungen

also nach festen Regeln zusammenhängen. Das Kausalprinzip schließt also die Voraussetzung ein, daß jeder Vorgang, daß alles Geschehen in der Welt sich in unverbrüchliche Regeln einordnet.

Kausalschlüsse, Induktions- und Analogieschlüsse sind aber die Denkmittel, welche mir in Leben und Wissenschaft die Realitäten zugänglich machen, die sich meiner unmittelbaren Erfahrung entziehen. Ihre Bedeutung für das Naturerkennen liegt auf der Hand. Jedes echte Naturgesetz setzt einen Induktionsschluß und damit das Regelmäßigkeitsaxiom voraus. Wenn speziellere Naturgesetze aus allgemeineren deduktiv, durch Spezialisierung, abgeleitet werden, so ruhen jene allgemeineren Gesetze doch ihrerseits zuletzt auf induktiven Schlüssen; damit gilt mittelbar ein gleiches für die deduktiv — z. B. mathematisch — abgeleiteten Naturgesetze.

Wir werden alsbald darzulegen haben, wie Erklären und Verstehen auf der Regelmäßigkeitsvoraussetzung beruhen. Auch daraus ergibt sich ihre Bedeutung für das Naturerkennen.

Unbeweisbarkeit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Überall, wo wir im Erkennen den Kreis der durch direktes Erfassen und Erinnerung gesicherten eigenen Bewußtseinserlebnisse überschreiten, stoßen wir auf die Voraussetzung von Regelmäßigkeit; dieser entsprechend werden neue Realitäten angenommen und bestimmt. Nehme ich an, daß ich morgen wieder erwache und das Tageslicht erblicke, so fuße ich auf dieser Voraussetzung. Sie liegt meiner Überzeugung zugrunde, daß ein weinendes Kind schmerzliche Gefühle erlebt. Auf sie baut der Astronom, der die Bewegungen der Kometen im voraus berechnet, aus den Sternspektren auf die Körper schließt, die in den Gestirnen sich finden, aus den Bahnen von Himmelskörpern das Vorhandensein unsichtbarer Gestirne erweist. Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung pflegt dabei nicht im Bewußtsein gegenwärtig zu sein, sie liegt aber in allen solchen Fällen logisch zugrunde.

Wie schon angedeutet wurde, steht die für die Naturauffassung grundlegende Voraussetzung, daß es eine Welt von Dingen-an-sich gebe, die unsere Sinneswahrnehmungen hervorrufen, mit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung in enger Verbindung. Die erstere Annahme ermöglicht die Voraussetzung, daß alle Ereignisse in der Welt (insbesondere unsere Sinneswahrnehmungen) sich nach bestimmten Regeln vollziehen. Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung kann jener „realistischen" Annahme also zugrunde gelegt werden. Genaueres darüber folgt weiter unten.

Nachdem die Bedeutung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung erkannt ist, wird man nach ihrer logischen Berechtigung zu fragen haben. Es ist zu prüfen, ob sie bewiesen werden kann.

Die Grundlage eines solchen Beweises könnten nur jene Erkenntnisse abgeben, welche von der Regelmäßigkeitsvoraussetzung unabhängig sind, wie das unmittelbare bzw. durch Erinnerung vermittelte Wissen des Individuums um das eigene gegenwärtige und vergangene Bewußtseinsleben. Dies Wissen schließt in der Tat die Erkenntnis von mancherlei Regelmäßigkeiten ein; man denke

z. B. an die Regelmäßigkeit des Wechsels der Gesichtseindrücke von Tageshelle und nächtlichem Dunkel.

Wie aber betont wurde, fordert unsere Voraussetzung, daß wir über diese durch unmittelbares Erfassen und Erinnerung gesicherte Regelmäßigkeit *hinausgehen*: sie ermöglicht es, in Vergangenheit und Zukunft sowie jenseits der Schranken des individuellen Bewußtseins Realitäten und Geschehnisse anzusetzen und zu bestimmen, und zwar gemäß einer *vorausgesetzten* Regelmäßigkeit, die durch unmittelbares Erfassen und Erinnerung *nicht* gesichert werden kann.

Ein deduktiver Beweis der Regelmäßigkeitsvoraussetzung ist unmöglich.

Es wurde schon dargelegt, daß deduktive Grundsätze und Schlüsse nicht über die Grenzen des Erkenntnisgebietes hinausführen können, das man mit ihnen bearbeitet. Ein deduktiver Beweis der Regelmäßigkeitsvoraussetzung, die so weit über das durch unmittelbares Erfassen und Erinnerung Gesicherte hinausreicht, ist also von der Grundlage des derart Gesicherten aus unmöglich. Selbst wenn ich Vergangenheit und Gegenwart meines Bewußtseinslebens genau kennen würde, könnte mir kein deduktiver Beweis von diesem Wissen aus weiterhelfen zu der Einsicht, daß ein Zukünftiges, von *Regeln* beherrschtes Erleben mir bevorsteht; daß es neben dem Strom meines Bewußtseins von Regeln beherrschte andere Bewußtseinsströme (die der Mitmenschen) gibt; daß all' dies Bewußtseinsgeschehen nach bestimmten Regeln zusammenhängt mit dem Geschehen in einer Welt von Dingen außerhalb menschlichen Bewußtseins, und daß diese Welt von Dingen sich ihrerseits festen Regeln fügt.

Eine andere als die obige, durch unmittelbares Erfassen und Erinnerung gesicherte Grundlage, von der ein deduktiver Beweis der Regelmäßigkeitsvoraussetzung ausgehen könnte, ist nicht vorhanden.

Ein induktiver Beweis ist unmöglich.

Wenn ein deduktiver Beweis demnach unmöglich erscheint, so gilt dasselbe offenbar von jedem Versuche eines induktiv-analogischen Beweises der Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Haben wir uns doch bereits deutlich gemacht, daß Analogie- und Induktionsschlüsse auf der Regelmäßigkeitsvoraussetzung beruhen. Gewiß kann ich induktiv-analogisch aus den erlebten Regelmäßigkeiten auf die Regelmäßigkeiten des zukünftigen Erlebens schließen; aber dabei tue ich ja nichts anderes als *voraussetzen*, daß auch weiterhin das Geschehen von Regelmäßigkeiten beherrscht wird. Der Analogie- und der Induktionsschluß können vom Gesicherten zum ohne sie nicht Erkennbaren nur führen, indem sie voraussetzen, daß das letztere sich Regeln fügt, indem sie also Regelmäßigkeit in bezug auf das ohne diese Schlüsse noch nicht Erkannte *voraussetzen*.

Gewiß führt die Erfahrung, indem sie uns Regelmäßigkeiten zeigt, zur Regelmäßigkeitsvoraussetzung hin (zumal unsere psychische Organisation darauf angelegt erscheint, dieser Voraussetzung entsprechend sich zu betätigen; vgl. S. 110f.). Doch kann die Voraussetzung aus der Erfahrung nicht bewiesen werden, weil sie so weit über das eigentliche Erfahrungswissen hinausführt. Die Zukunft kennen wir nicht aus der Erfahrung. Wir schließen auf die Zukunft auf Grund unseres Erfahrungswissens, aber wir müssen, indem wir dies tun, die Regelmäßigkeitsvoraussetzung machen. Ohne Regelmäßigkeitsvoraussetzung

weiß jedes Individuum aus Erfahrung nur um eigene, vergangene und gegenwärtige Bewußtseinstatsachen.

Der Empirismus darf also nicht behaupten, daß ein empirisch-induktiver Beweis für die Regelmäßigkeitsvoraussetzung logisch möglich sei, der keinen Zirkel darstelle, der das zu Beweisende nicht schon voraussetzen müsse. Die Kritiker des Empirismus setzen sich aber ins Unrecht, wenn sie sagen, durch einen empirisch-induktiven Beweis könne die Annahme einer Regelmäßigkeit des ganzen Weltgeschehens nur als wahrscheinlich dargetan werden. Schon dies Zugeständnis geht viel zu weit. Ohne Zirkel kann auf Grund der bloßen Erfahrung die Regelmäßigkeitsvoraussetzung für das Gesamtwirkliche überhaupt nicht durch Beweis gestützt werden, weder durch eine strenge deduktive, noch durch eine „nur wahrscheinliche" induktive Argumentation.

Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung ist nicht unmittelbar evident. Es gibt Erkenntnisse, die unbeweisbar sind, aber auch keines Beweises bedürfen, weil sie unmittelbar evident, ohne weiteres sofort denknotwendig sind. Solche unmittelbare Evidenz kommt jedoch der Regelmäßigkeitsvoraussetzung nicht zu. Ich erkenne nicht mit unmittelbarer Evidenz, daß die Zukunft sich in entsprechender Weise Regeln fügt, wie die Vergangenheit, daß mit dem Lachen und Weinen meiner Mitmenschen Gefühle nach Regeln verbunden sind, wie sie die Verbindung von Gefühlsausdruck und Gefühl bei mir beherrschen. Es ist nicht unmittelbar evident (wie z. B. die Verschiedenheit von Schwarzempfindung und Weißempfindung), daß eine außerhalb menschlichen Bewußtseins existierende Welt festen Regeln gehorcht, daß die gleichen strengen Regeln das Geschehen im Laboratorium auf unserer Erde und in den entferntesten Regionen des Weltalls beherrschen. Solche Regelmäßigkeit im realen Sein und Geschehen ist nicht ohne weiteres denknotwendig. Kann ich doch ganz gut denken, daß ein regelmäßiger Zusammenhang im Realen, der bisher ganz unverbrüchlich galt, in Zukunft nicht mehr gelten wird, daß z. B. die Sonne aufhören werde, andere Himmelskörper nach Newtons Gravitationsgesetz anzuziehen. Auch kann ich ohne Schwierigkeit denken, daß Regeln des realen Geschehens seltener oder häufiger Ausnahmen erleiden, daß dies insbesondere in Zukunft der Fall sein werde. Freilich, in einer ganz regellosen Welt, gegenüber völlig chaotischen Eindrücken würde mein Denken versagen, mir „der Verstand stille stehen"; unsere seelische Organisation ist an einen regelmäßigen Lauf des Geschehens angepaßt. Das kann indessen nicht zum Beweise unserer Voraussetzung dienen. Es ist nicht einzusehen, warum nicht in Zukunft in der Tat der Lauf der Welt derart unregelmäßig werden könnte, daß dabei der menschliche Verstand versagen müßte.

Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung folgt nicht analytisch aus dem Begriff der Wirklichkeit. Erste Form der (radikalen) Konventionslehre. Analytische Urteile sind denknotwendig; sobald man eingesehen hat, daß das Prädikat eines Urteils als „Merkmal" zum Begriff des Subjektes gehört (dies charakterisiert das analytische Urteil), versteht sich die Gültigkeit des Urteils ohne weiteres von selbst. Z. B. gehört zum Begriff

des Kreises das „Merkmal", daß alle seine Punkte von einem Punkte gleich weit entfernt sind; darum können wir dies Merkmal von jedem Kreise ohne weiteres aussagen, mag es sich um einen in der Erfahrung gegebenen Kreis (falls ein solcher möglich ist) handeln oder nicht; die Aussage muß auch für die Zukunft gelten.

Ist die Regelmäßigkeitsvoraussetzung ein analytisches Urteil?

Der Gedanke liegt nahe, daß auch die Regelmäßigkeitsvoraussetzung analytisch sei. Sie sagt etwas aus über das (vergangene, gegenwärtige und zukünftige, im eigenen oder fremden Bewußtsein oder außerhalb solcher Bewußtseinsströme vorhandene) Wirkliche; sie behauptet, dies Wirkliche füge sich überall Regeln. Das Prädikat, das Merkmal der Regelmäßigkeit, müßte also zum Begriff des Subjektes, zum Begriff der Wirklichkeit gehören.

Zugunsten einer solchen Auffassung kann man darauf hinweisen, daß wir in der Tat oft Behauptungen über das Wirkliche von vornherein ablehnen, weil sie festen Regeln widersprechen. Wie wir etwa die Mitteilung ablehnen würden, irgendwo gebe es einen Kreis, dessen Punkte vom Mittelpunkte verschieden weit entfernt seien, so glauben wir es auch nicht, wenn uns berichtet wird, daß im Schlaraffenlande die Tauben gebraten fliegen. Wenn wir aber im Traume (oder in einer Halluzination) etwas sehen, was festen Regeln widerspricht — z. B. das Kommen eines Verstorbenen —, so bezeichnen wir es als unwirklichen „Schein". In der Tat scheint es also, daß wir prinzipiell nur das zur Wirklichkeit rechnen, was der „Regelmäßigkeitsvoraussetzung" genügt, daß wir etwas als unwirklich bezeichnen, weil es ihr nicht entspricht; ebenso rechnen wir eine Figur nur dann zu den Kreisen, wenn alle ihre Punkte von einem Punkte gleich weit entfernt sind — andernfalls bezeichnen wir die Figur nicht als Kreis. Wie wir nun dies Merkmal in den Begriff des Kreises aufnehmen, so wäre auch jene Regelmäßigkeitsbedingung als ein Merkmal des Begriffes der Wirklichkeit aufzufassen.

Gründe gegen eine solche Annahme.

Eine solche Auffassung wäre jedoch nur dann möglich, wenn wir das Prädikat der Wirklichkeit einem Etwas nur unter der Bedingung, dem Vorbehalt zusprechen dürften, daß es sich festen Regeln fügt (wie wir ein Etwas nur unter der Bedingung als Kreis bezeichnen dürfen, daß ihm das oben genannte Merkmal des Kreises zukommt). Es gibt jedoch Fälle, in denen wir ein Etwas unter allen Umständen als wirklich bezeichnen müssen, ganz ohne Rücksicht auf jene Bedingung. Was ich mit unmittelbarer Evidenz und Sicherheit als ein gegenwärtiges Erlebnis im eigenen Bewußtsein erfasse, muß ich als wirklich bezeichnen, ganz ohne jeden Vorbehalt, ohne alle Rücksicht auf die Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Wenn die Weißempfindung oder der heftige Schmerz, die ich unmittelbar gegenwärtig erlebe, sich auch in keine Regel fügen würden, würde ich doch daran festhalten, daß ich jene Empfindung oder den Schmerz wirklich verspüre. Das Sicher-Gegenwärtig-Gegebene wäre wirklich, auch wenn es sich allen Regeln entzöge. Darum ist es denkbar, daß uns etwas Wirkliches im Sicher-Unmittelbar-Erlebten begegnen könne, welches sich der Regelmäßigkeitsvoraussetzung nicht fügt. Wir dürften unter keinen Umständen aus dem Sicher-Unmittelbar-Erlebten das der Regelmäßigkeitsvoraussetzung Genügende

auswählen, um es als wirklich zu bezeichnen, das ihr nicht Genügende aber als unwirklich ausscheiden. Ein anderer Gesichtspunkt als der der Regelmäßigkeitsvoraussetzung bestimmt also wenigstens im Gebiete des Sicher-Erlebten, daß dieses wirklich sei, und es ist nicht evident, daß alles so als wirklich Bestimmte jener Voraussetzung entsprechen müsse. Das Wirkliche darf demnach nicht durch Begriffsbestimmung als das der Regelmäßigkeitsvoraussetzung sich Fügende festgelegt werden (so wenig es als das Wirkende definiert werden darf), obwohl wir glauben, obwohl wir voraussetzen, daß alles Wirkliche unter Regeln steht.

Zu diesem Ergebnis führt auch die folgende Überlegung. Wir haben uns bereits deutlich gemacht, daß uns analytische Urteile über die Erfahrung nicht belehren können, uns nicht eigentlich etwas Neues sagen können; sie sagen eben nur, was im Subjektsbegriff schon enthalten ist. Nun sagt aber die Regelmäßigkeitsvoraussetzung Neues, ohne sie Nichtgewußtes über frühere und zukünftige Erfahrung; sie sagt z. B., daß ich auch in Zukunft den Wechsel von Tag und Nacht wahrnehmen, erfahren werde. Also kann diese Voraussetzung kein analytisches Urteil sein. — Legte ich durch Begriffsbestimmung fest, nur das solle als wirklich bezeichnet werden, welches festen Regeln sich fügt, so dürfte ich fernerhin nichts wirklich nennen, das dieser Bedingung nicht genügen würde; ich wüßte also, daß alles ,,Wirkliche" (in dem so bestimmten Sinne) sich auch fernerhin festen Regeln fügen wird. Damit wüßte ich aber in Wahrheit so gut wie nichts; ich wüßte ja gar nicht, ob fernerhin — etwa in der zukünftigen Erfahrung — je Gelegenheit sein würde, etwas als ,,Wirklich" zu bezeichnen. Um dies zu wissen, müßte ich wissen, daß in Zukunft Regeln-sich-Fügendes (etwa in der Erfahrung) geschieht, d. h. ich müßte doch wieder Regelmäßigkeit voraussetzen. — Ob ich meine zukünftigen unmittelbaren Erfahrungen oder Erlebnisse wirklich nenne oder nicht, ich kann über sie nichts wissen ohne Regelmäßigkeitsvoraussetzung, die durchaus synthetisch und unabhängig davon ist, welche Begriffsbestimmungen und Bezeichnungen ich einführe.

Die radikale Konventionslehre.

Die soeben abgewehrte Auffassung können wir zur Konventionslehre rechnen. Sie bestimmt durch die Festsetzung (,,Konvention"), daß das Wirkliche sich festen Regeln fügen solle, was als wirklich betrachtet werden darf, und müßte also ev. alles das als unwirklich bezeichnen, gleichsam aus der Wirklichkeit streichen, was dieser Festsetzung nicht entsprechen würde. In anderer Weise kann man der gleichen Festsetzung dadurch zu entsprechen versuchen, daß man zum unmittelbar erlebten Wirklichen in geeigneter Weise Realitäten hinzufügt, statt ev. durch Streichung, durch Subtraktion das Ziel anzustreben. Das erscheint um so aussichtsreicher, als in der Tat, der Regelmäßigkeitsvoraussetzung zuliebe sozusagen, ein solches Hinzusetzen von Realitäten zum bisher unmittelbar erlebten Wirklichen, zum Gegenwärtig-Gegebenen und Erinnerten, stattfindet.

Zweite additive Form (Hauptform) der radikalen Konventionslehre. Dabei wird das vom Individuum im eigenen Bewußtsein unmittelbar erlebte Wirkliche als solches ohne Vorbehalt anerkannt, ein verhängnisvoller

Fehler der soeben kritisierten Auffassung also vermieden. Wir gehen aus vom Unmittelbar-Sicher-Gegebenen und fügen noch hinzu, was durch Erinnerung wohl gesichert ist. In diesem Bereiche finden wir mancherlei Regelmäßigkeiten, aber auch Wirkliches, das sich nicht in Regeln einordnet, solange wir in seinen Grenzen bleiben; z. B. ordnet sich eine neue Geräuschwahrnehmung nicht in Regeln ein. Nun wird festgesetzt, das Wirkliche solle nicht nur gelegentlich sich Regeln fügen, wie es in jenem Bereiche der Fall ist, sondern die Regelmäßigkeit solle eine viel weiter gehende, womöglich eine absolute sein; alles Wirkliche solle durch strenge Regeln bestimmt sein. Wollen wir dieser „Konvention" genügen, so müssen wir zum Heute ein Morgen annehmen, weil früher auf das Heute ein Morgen folgte; wir müssen die Zukunft mit Wirklichkeiten füllen, die den Gesetzen des Vergangenen gehorchen; wir werden außerhalb des eigenen Bewußtseinsstromes Realitäten annehmen, damit alle Wahrnehmungen durch feste Regeln bestimmt werden; wir müssen der „konventionellen" Regelmäßigkeit zuliebe unseren Mitmenschen Bewußtseinsleben zuschreiben, hinter ihrem Lachen Lustigkeit, hinter ihrem Weinen Schmerzen suchen.

In der Tat gelangen wir zu dem nicht-unmittelbar-gegebenen und nicht-erinnerten Wirklichen in der Weise, wie es von der Regelmäßigkeitskonvention gefordert wird. Trotzdem erscheint die Lehre als eine ungeheure Paradoxie. Versuchen wir zunächst diese zu mildern, indem wir den Gedanken an plausibeln Beispielen verdeutlichen. Ich sehe zwei Stahlstäbe, an denen keinerlei Unterschied zu bemerken ist. Der eine zieht nahe Eisenteilchen an, der andere nicht. Da liegt zunächst eine Unregelmäßigkeit in der Erfahrung vor: in gleichen Situationen erfolgt Verschiedenes. Wir beseitigen diese Unregelmäßigkeit gemäß der allgemeinen Regelmäßigkeitskonvention durch die Festsetzung, daß das „scheinbar" Gleiche in „Wirklichkeit" verschieden sei. Wir schreiben dem einen Stabe eine unsichtbare Kraft, einen Zustand zu, der dem anderen fehlen soll; wir nennen den einen Stab magnetisch. Die Unregelmäßigkeit ist beseitigt, indem wir unserer Festsetzung zuliebe die Wirklichkeit um einen unwahrnehmbaren Zustand bereichert haben. Durch solche Bereicherungen können wir immer wieder Unregelmäßigkeiten aus der Welt schaffen, indem wir z. B. das abweichende Verhalten eines Körpers auf einen elektrischen Zustand zurückführen, indem wir die „Störungen" einer Sternbahn durch nicht wahrgenommene Sterne erklären, indem wir einem Menschen eine besondere gereizte Stimmung zuschreiben, wenn er uns in ungewohnter Weise unhöflich antwortet. Nichts zwingt uns mit der Macht logischer Notwendigkeit zu der Annahme, daß es mehr Regelmäßigkeit in der Welt gebe als die, welche einem jeden unmittelbares Erleben und zuverlässige Erinnerung verbürgt; ja schon das Erinnerungsvertrauen ruht nicht auf echter Evidenz. Nehmen wir mehr Regelmäßigkeit oder gar absolute Gesetzmäßigkeit des Wirklichen an, so ist dies keine logisch notwendige Forderung, sondern eine Festsetzung, eine Konvention, die wir immer mehr zu befriedigen suchen, indem wir neue Wirklichkeiten hinzufügen und bestimmen, mag das Hinzugefügte nun in eigenen zukünftigen oder auch vergangenen Bewußtseinserlebnissen, in Bewußtseinsströmen der

Verdeutlichung an Beispielen.

Mitmenschen oder in Körpern, körperlichen Kräften, Zuständen usw. bestehen.

Zur Kritik der additiven Form der Konventionslehre. Vertreter „konventionalistischer Gedanken" sind vor den paradoxen Konsequenzen ihrer Lehre nicht zurückgeschreckt. Die Annahme der Gesetzmäßigkeit des Weltgeschehens ist konventionell, logisch willkürlich, ist Festsetzung einer Terminologie. Da auf ihr die „theoretische Naturwissenschaft" beruht, „ist auch diese selbst nichts als eine passend gewählte Terminologie." (Ph. Frank.)

Solche Folgerungen müssen immerhin zu kritischer Betrachtung einladen. In der Tat scheitert auch die vorliegende Form der Konventionslehre daran, daß wir auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung in die Zukunft — zunächst jedenfalls in die des eigenen Bewußtseins — schauen können und konnten. Auf Grund bloßer konventioneller Festsetzungen kann man aber nicht prophezeien. Wenn ich die Zukunft voraussage, so urteile ich: so wird es sein; wenn aber eine bloße Konvention vorliegt, so heißt es: ich kann dies, kann aber auch jenes andere annehmen, nach Willkür und Belieben. Wenn ich aber bezüglich eines Zukünftigen nach Belieben etwas annehmen oder diese Annahme ändern und fallen lassen kann, so liegt eben kein Prophezeien vor. Ich weiß, daß heute auf den Tag die Nacht folgen wird. Das ist nicht Konvention und beruht nicht auf Konvention; denn sonst wäre ja die daneben denkbare, kontradiktorisch entgegenstehende konventionelle Festsetzung ebenso möglich, daß heute auf den Tag nicht Nacht folgen werde. Hier zeigt sich deutlich, daß die Regelmäßigkeitsannahme keine bloße Übereinkunft darstellt, sondern echtes Wissen einschließt.

Eine Regelmäßigkeitskonvention würde keinen Ausblick in die Zukunft ermöglichen.

Man mag vielleicht einwenden, wir wüßten noch gar nicht sicher, daß heute usw. wieder auf den Tag die Nacht folgen werde. Jedenfalls habe ich gestern und vorgestern usw. geglaubt, daß auf den Tag die Nacht folgen werde, und immer hat sich diese prophetische Annahme bestätigt. Die Annahme des Fortbestehens der Regelmäßigkeit für die Zukunft, welche in meinem Glauben steckte, traf also gestern, vorgestern usw. das Richtige, war jedenfalls für diese Tage ein echtes Wissen, keine bloß konventionelle, willkürliche Festsetzung; denn hätte ich gestern, vorgestern usw. die abweichende Annahme gemacht, die Nacht werde nicht auf den Tag folgen, so hätte mir die direkte Erfahrung die Undurchführbarkeit solcher Willkür gezeigt.

Wir glauben, daß wir heute wieder die Wahrnehmung der Nacht und morgen wieder die des Tages erleben werden. Hier liegt eine nicht logisch evidente, in keiner Weise beweisbare Voraussetzung von Regelmäßigkeit vor. Trotzdem ist es unmöglich, diese Annahme als willkürliche Festsetzung, als lediglich konventionell hinzustellen. Sie ist nicht willkürlich, nicht beliebig, nicht der Entscheidung nach Wahrheit und Falschheit entzogen, weil zukünftige direkte Erfahrung über diese Annahme in der Tat entscheiden wird.

Ein Teil der Regelmäßigkeit des Wirklichen ist durch direktes Erleben und Erinnerung gesichert; dazu wird durch Erleben und Erinnerung nicht gesicherte Regelmäßigkeit angenommen; diese angenommene Regelmäßigkeit kann aber nicht restlos auf Konvention zurückgeführt werden, weil zu der ange-

nommenen die in Zukunft zu erlebende Regelmäßigkeit gehört; weil diese erlebt werden wird, kann über sie nicht durch Konvention, nach Willkür und Belieben verfügt werden.

Von zwei gleich erscheinenden Stahlstäben zieht der eine Eisen an, der andere nicht. Man sagt uns, es beruhe auf Konvention, daß wir dem einen den Zustand des Magnetismus zusprechen. Aber es kann nicht auf Konvention beruhen, daß gerade dieser Stahlstab bei wiederholten Versuchen regelmäßig wieder Eisen anzieht, während der andere dies regelmäßig nicht tut. Und wenn es uns gelingt, die Vorgeschichte der beiden Stäbe zu erfahren, so vernehmen wir, daß diese verschieden war, daß der erstere von Magneten berührt wurde oder in einer vom elektrischen Strom durchflossenen Spule steckte u. dgl., während dies beim anderen nicht der Fall war. Damit wird die Verschiedenheit im Verhalten der Stäbe ohne Konvention auf Regeln zurückführbar.

Allgemeinerer, aus dem Begriff der Wirklichkeit sich ergebender Einwand.

Indessen ist gegen die vorliegende Form des Konventionalismus ein allgemeineres Bedenken zu äußern. Die Annahme, daß durch willkürliche Konvention über die Setzung von Wirklichkeiten entschieden werden könne, schließt einen Widerspruch ein, wenn unsere früheren Betrachtungen über den Begriff der Wirklichkeit zu Recht bestehen. Wir verzichteten darauf, eine Definition dieses Begriffes zu geben, kamen aber zu dem Ergebnis, daß das Wirkliche dem nur Gedachten gegenüberstehe als ein Plus, welches unabhängig davon ist, ob und wie daran gedacht wird. Habe ich in meinem Bewußtsein gegenwärtig ein unzweifelhaft wirkliches Erlebnis (z. B. eine starke unangenehme Empfindung körperlicher Müdigkeit), so besteht dies Wirkliche, eben weil es wirklich ist, unabhängig davon, ob jemand daran denkt, es sich vorstellt usw. Eine willkürliche Konvention kann nicht über Dasein und Eigenschaften des Wirklichen entscheiden; denn die Konvention ist ja ein (in meinem Belieben stehender) Gedanke, kann also nicht das Wirkliche bestimmen, das als solches unabhängig davon ist, ob und wie ich daran und darüber denke. Freilich, das zukünftige Wirkliche hängt von meinen Gedanken insofern zum Teil mit ab, als meine gegenwärtigen Gedanken mein Denken, Fühlen, Wollen, Tun usw. beeinflussen. Aber das Zukünftig-Wirkliche ist eben zurzeit noch ein Nicht-Wirkliches. Wäre die Regelmäßigkeitsannahme bezüglich der Zukunft konventionell, so hinge damit das Zukünftig-Wirkliche, das wir ja gemäß der Regelmäßigkeitsannahme bestimmen, von einer Konvention, von einer gedanklichen Festsetzung so sehr ab, daß es sich ihr völlig angleichen müßte; änderte sich die Konvention — und es liegt ja im Begriff der Konvention, daß sie geändert werden kann —, so müßte sich das Zukünftig-Wirkliche wiederum dieser Änderung entsprechend angleichen. Wählte ich als konventionelle Festsetzung den Gedanken, daß die wirklichen Ereignisse ab und zu die Regelmäßigkeit durchbrechen, so müßte sich das Zukünftig-Wirkliche ganz anders verhalten, um dieser neuen Konvention, diesem geänderten Gedanken, zu entsprechen.

Wenn ein Konventionalist nun sich darauf berufen würde, daß unsere Gedanken die (zukünftige) Wirklichkeit doch tatsächlich beeinflussen, z. B. auf unsere Gefühle wirken, so wäre zunächst darauf hinzuweisen, daß darin eine

ganz andere Abhängigkeit liegt als die, welche hier in Frage steht, und welche die Konventionslehre fordert. Unsere Gedanken sind — nach landläufiger Ansicht, an der wir hier trotz entgegenstehender Hypothesen festhalten können— wirksame Faktoren im wirklichen Geschehen; insofern ist die (zukünftige) Wirklichkeit von ihnen natürlich abhängig. Die Konventionslehre aber müßte eine ganz andere Abhängigkeit des Wirklichen von meinen Gedanken behaupten; sie müßte annehmen, daß das Wirkliche sich nach dem Sinn meiner Gedanken richtet, ihm sich angleicht, daß es regelmäßig ist, weil wir es als regelmäßig denken in unserer willkürlichen Festsetzung, daß es also auch insoweit unregelmäßig sein würde, als wir es als unregelmäßig denken würden in einer anderen Konvention.

Doch betrachten wir nicht das Zukünftige, das ja noch gar nicht wirklich ist, sondern die vergangene Wirklichkeit, die jedenfalls doch der Beeinflussung durch unsere gegenwärtigen Gedanken entzogen ist. Das vergangene Wirkliche ist also von willkürlichen gegenwärtigen Gedanken, von Konventionen, in jedem Sinne unabhängig. Und doch bestimmen wir auch vergangene Ereignisse durch die Regelmäßigkeitsannahme. Wäre diese eine Konvention, so müßte sich nachträglich noch Vergangenes ändern, wenn ich einmal die gedankliche Festsetzung der Regelmäßigkeitsannahme modifizieren würde.

Die Regelmäßigkeitsannahme soll eine willkürliche gedankliche Festsetzung sein. Damit macht sie das Wirkliche, welches sie setzt und bestimmt, zu einem ganz vom Denken Abhängigen, durch das Denken Gesetzten und Bestimmten. Das durch unser Erleben, ohne Regelmäßigkeitsannahme, gesicherte Wirkliche ist aber nicht so vom Denken abhängig, nicht durch das Denken derart gesetzt und bestimmt. Es wäre darum besser, das durch Erleben (gegenwärtiges Erfassen und Erinnerung) Gesicherte anders zu bezeichnen als das entsprechend der Regelmäßigkeitskonvention Gedachte oder Gesetzte und Bestimmte. In der Tat unterscheidet man wohl zwischen Wirklichkeit und Realität in einem ähnlichen Sinne. Wirklich wäre dann das durch Erleben (und Erinnerung) Gesicherte, real wäre das der Regelmäßigkeitskonvention zuliebe Hinzugedachte.

Auch die Unterscheidung zwischen Wirklichkeit und Realität kann die Konventionslehre nicht gegen die Kritik sicherstellen.

Indessen wäre auch dieser Sprachgebrauch noch geeignet, die Sachlage zu verschleiern. Auch jetzt müßten wir nämlich zu der das „Reale" betreffenden Regelmäßigkeits**konvention** eine das zukünftige „Wirkliche" betreffende echte Regelmäßigkeits**voraussetzung** von nicht konventionellem Charakter hinzunehmen, weil wir etwas vom zukünftig „Wirklichen", vom von uns zu Erlebenden, wissen müssen. Davon spricht die Regelmäßigkeits**konvention** ja nicht; sie weiß nur von „Realem", d. h. der Konvention zuliebe, also willkürlich Gesetztem und Bestimmtem. Daß das künftige Reale, sofern es der Regelmäßigkeitskonvention entsprechend als zu meinem Bewußtseinsstrom gehörig **gedacht** werden muß, von mir **erlebt** werden wird, also **wirklich** werden wird, darüber kann diese Konvention, die nicht über Wirkliches entscheidet, sondern nur Reales setzt und bestimmt, natürlich nichts lehren. Sofern dies künftige Reale also zwar gedacht ist, über sein Verhältnis zur Wirklichkeit aber gar nichts feststeht, solange man bloß die Regelmäßigkeits**konvention**

gelten läßt, ist das Reale ein Nur-Gedachtes. Mit anderen Worten, wenn man keine Regelmäßigkeitsvoraussetzung, sondern nur eine Regelmäßigkeitskonvention annimmt, so ergänzt man die durch Erleben und Erinnerung gesicherte Wirklichkeit durch ein Nur-Gedachtes, über dessen Wirklichkeit man gar nichts weiß; man ergänzt die Wirklichkeit in Wahrheit gar nicht; nur die Bezeichnung „Reales" für das konventionell Hinzugedachte kann darüber hinwegtäuschen. Auf Grund einer willkürlichen Festsetzung hätten wir mancherlei zur Bereicherung der Zukunft und Vergangenheit innerhalb und außerhalb unseres Bewußtseins hinzugedacht zu dem, was wir über unser eigenes Bewußtsein durch direktes Erleben und Erinnerung wissen. Irgendeine neue Erkenntnis über das Wirkliche hätten wir nicht gewonnen. Der Astronom, der von künftigen Himmelserscheinungen spricht, indem er sich auf die Regelmäßigkeitskonvention — nicht auf die echte Regelmäßigkeitsvoraussetzung — stützt, redet von rein gedanklichen Objekten ebenso wie der Mathematiker, der sich mit dem fünfdimensionalen Raume oder mit imaginären Zahlen beschäftigt.

Trotz der Regelmäßigkeitskonvention ständen wir in bezug auf Wirklichkeitserkenntnis wieder an dem Punkte, zu dem wir ohne Regelmäßigkeitsvoraussetzung gelangt waren; wir wußten nur von der Vergangenheit und Gegenwart des eigenen Bewußtseinslebens. Doch können wir an diesem Punkte nicht stehen bleiben; wir kommen also mit der Regelmäßigkeitskonvention nicht aus.

Mit dieser ablehnenden Kritik werden weniger radikale Formen der Konventionslehre nicht ausgeschlossen.

Die Regelmäßigkeit im realen Geschehen ein Produkt des Verstandes? Kant-Schopenhauersche Lehren. Nach der besprochenen Konventionslehre ist die Regelmäßigkeit im realen Geschehen, wenn wir von diesem das durch direktes Erleben und Erinnerung gesicherte eigene Bewußtseinswirkliche absondern, ein Produkt des Verstandes. Er macht — etwa in Anlehnung an Regelmäßigkeiten in jenem Bewußtseinswirklichen — die willkürliche Festsetzung, daß über diese Regelmäßigkeiten hinaus feste Regeln das Geschehen beherrschen sollen; er setzt zum Bewußtseinswirklichen Reales derart hinzu, daß die Regelmäßigkeitsfestsetzung befriedigt wird. Er schafft also das Reale mitsamt der dasselbe beherrschenden Regelmäßigkeit.

Daß die alle „empirische Realität" beherrschende Regelmäßigkeit des Geschehens aus dem Verstande stammt, ist auch Kantsche Lehre. Indessen ist diese Regelmäßigkeit der „objektiven Welt" nach Kant und Schopenhauer (Sch. denkt speziell an die materielle Realität) das Ergebnis einer notwendigen Funktionsweise unseres Geistes, nicht einer willkürlichen Konvention. Damit wird das Reale und seine Regelmäßigkeit wenigstens der Willkür gedanklicher Festsetzungen entzogen; das Paradoxon wird insofern gemildert, wenngleich nicht beseitigt.

Schafft nun der Verstand durch seine notwendige Funktionsweise das Reale mit seiner Regelmäßigkeit ganz aus sich heraus, oder benutzt er dazu

ein Material, welches er ordnet? Nach Kant-Schopenhauerscher Auffassung liegt ein solches Material für die ordnende Tätigkeit der Erkenntnisfunktionen vor; sie formen aus dem „rohen Stoff" der Empfindungen das regelmäßige reale Geschehen. — Doch betrachten wir zunächst die radikalere Ansicht, nach der der Verstand nicht mit einem vorgefundenen Material arbeitet.

Kritik der Annahme, der Verstand schaffe das Reale mitsamt seiner Regelmäßigkeit.

Wir nehmen also an, der Verstand schaffe mit innerer Notwendigkeit das Reale mitsamt seiner Regelmäßigkeit. Nun fragen wir: Schließt das Reale das erlebte und zu erlebende Wirkliche ein oder nicht? Im letzteren Falle wissen wir durch unsere Annahme nichts von der vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Wirklichkeit; wir müssen aber das zukünftig zu erlebende Wirkliche erkennen; wir brauchen also neben jener Annahme noch die echte Regelmäßigkeitsvoraussetzung für das zukünftig zu erlebende Wirkliche. Ohne diese echte Regelmäßigkeitsvoraussetzung stände das Reale, welches wir für die Zukunft in unserem eigenen Bewußtseinsstrom ansetzen müssen, als ein Etwas da, von dem wir gar nicht wissen, ob wir es wirklich erleben werden; insofern wäre es ein lediglich Gedachtes, wenn auch ein mit Notwendigkeit Gedachtes. Wir kämen zu dem Ergebnis, daß zum durch Erleben und Erinnerung gesicherten Wirklichen mit Notwendigkeit ein Gedachtes hinzuzusetzen ist, daß wir aber mit dieser Annahme nicht auskommen, weil wir doch für das zukünftig zu erlebende Wirkliche unsere echte Regelmäßigkeitsvoraussetzung überdies noch annehmen müssen. Eine genügende Grundlage oder einen befriedigenden Ersatz für die letztere erhalten wir also nicht.

Wir nehmen nun an, daß das Reale das erlebte und zu erlebende Wirkliche einschließt. Indem wir annehmen, der Verstand schaffe mit innerer Notwendigkeit alles Reale mitsamt seiner Regelmäßigkeit, das erlebte und noch zu erlebende Wirkliche eingeschlossen, machen wir bereits eine das Wirkliche betreffende Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Auch wenn aus einer notwendigen Funktion des Verstandes die Regelmäßigkeit des erlebten und erinnerten Wirklichen stammt, versteht es sich nicht von selbst, daß diese Verstandesfunktion weiterhin Wirkliches schaffen müsse, das festen Regeln sich fügt. Dies ist reine Annahme oder Voraussetzung. Die Regelmäßigkeit des zukünftigen Wirklichen wird nicht dadurch gesichert, daß man sie als Leistung des Verstandes ansieht. Wir müssen schlechthin voraussetzen, daß der Verstand nach Regeln Wirkliches weiterhin schafft, wie er das erlebte Wirkliche geschaffen hat. Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung ist nicht beseitigt, sondern nur spezialisiert, indem sie auf die mit Notwendigkeit schaffende Tätigkeit des Verstandes bezogen wird. Da wir nichts von dieser Tätigkeit wissen, da es sich um eine bloße Annahme handelt, stellt diese Spezialisierung der Voraussetzung nur eine Belastung derselben durch eine Hilfsannahme dar, die nichts leistet.

Daß man die Verstandesfunktion als notwendig bezeichnet, führt auch nicht weiter. Auch wenn unser Verstand mit Notwendigkeit das erlebte und erinnerte Wirkliche mit seiner Regelmäßigkeit geschaffen hat, folgt nicht, daß er außer diesem noch mehr Wirkliches mit Regelmäßigkeit geschaffen haben müsse und weiterhin hervorbringen müsse. Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung kehrt

irgendwie immer wieder. Es ist an sich ja denkbar, daß der schaffende Verstand sein Wesen bald in dieser, bald in jener Weise ändert, so daß seine Schöpfungen alle Regeln durchbrechen.

Kritik der Annahme, daß die Erkenntnisfunktionen aus einem gegebenen Material ein Geschehen bilden, welches sich festen Regeln fügt.

Nimmt man an, daß die Erkenntnisfunktionen aus einem Material, welches sie nicht selbst schaffen, durch ordnende Tätigkeit ein Geschehen produzieren, das sich festen Regeln fügt, so bleibt die Sachlage im wesentlichen die gleiche. Wir können den Kant-Schopenhauerschen Gedanken durch ein Gleichnis verdeutlichen, das natürlich keinerlei Anspruch darauf macht, dessen historische Durchführung auch nur im Groben wiederzugeben. Aus einem Rohmaterial von ungeordneten, an sich noch ohne räumliche und zeitliche Bestimmungen zu denkenden Empfindungen schaffen unsere Erkenntnisfunktionen ein Regeln sich fügendes Geschehen. So kann etwa aus einem ungeordneten Haufen von roten, gelben, blauen usw. Steinchen durch ordnende Tätigkeit ein regelmäßiger Mosaikstreifen gelegt werden, in dem eine bestimmte Steinchenfolge, ein bestimmtes Ornament, sich stets wiederholt. Die Regelmäßigkeit des Produktes stammt aus der ordnenden Tätigkeit des Bildners. So stammt auch die Regelmäßigkeit des Wirklichen, welche wir erleben, aus der ordnenden Tätigkeit, durch welche die Erkenntnisfunktionen, insbesondere der Verstand, aus dem Rohmaterial der Empfindungen dieses Wirkliche schafft.

Auch hier ist die Regelmäßigkeitsvoraussetzung nicht beseitigt, sondern nur spezialisiert. Mag der Verstand immerhin das durch Erleben und Erinnerung gesicherte Wirkliche geordnet haben, so kann ich doch nicht wissen, daß von ihm nach gleichen Regeln ein Wirkliches geordnet sein werde, welches ich in Zukunft erlebe.

Es ist wichtig, sich zu verdeutlichen, welche Motive dazu führen, den Verstand zum Schöpfer oder doch Bildner des Realen zu machen. Die Annahme, daß das Reale festen Regeln untersteht, ist weder analytisch noch durch das direkte Erleben und Erinnern gesichert; sie überschreitet ja das bisher Erfahrene, ist synthetisch und apriorisch. Wenn das reale Geschehen nun unabhängig von unserem Denken seinen Weg geht, so verstehen wir nicht, wie wir *a priori* über diesen Weg etwas wissen können; wir verstehen insbesondere nicht, woher wir wissen, wie weiterhin dieser Weg verlaufen, wie in Zukunft das reale Geschehen sich verhalten wird. Wenn aber das reale Geschehen sich nach unserem Denken richtet, von unserem Verstande selbst geschaffen oder doch gebildet wird, so scheint die Sache erklärlich. Wenn ich selbst die Steinchen zu einer Figur zusammenzulegen begonnen habe, kann ich im voraus zwar nicht im einzelnen und genau, aber doch in bezug auf ihre großen Züge wissen, wie diese werden wird; ich kann voraussehen, ob sie etwa regelmäßig werden wird.

Doch ich kann dies nur auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Wenn mein Plan beim Legen der Figur ohne Regel sich änderte, könnte ich nicht ahnen, was herauskommen würde. Auch wenn mein Verstand das reale Geschehen schafft oder bildet, muß ich voraussetzen, daß er sich dabei nach festen Regeln betätigt, wenn ich über die nicht direkt erlebten bzw. erinnerten Produkte dieser Tätigkeit etwas wissen will. Der Verstand könnte sich ja auf

die Produktion des Wirklichen beschränkt haben, welches mir Erleben und Erinnerung sichern, oder er könnte nach wechselnden, nach keineswegs ausnahmslosen Regeln schaffen bzw. bilden. Indem wir alles dies ausschließen, machen wir Voraussetzungen, die als spezielle Ausgestaltungen unserer Regelmäßigkeitsvoraussetzung gelten können. Wir führen die Regelmäßigkeit des Realen zurück auf die Regelmäßigkeit der Betätigung des schaffenden oder bildenden Verstandes; wir setzen voraus, daß aus der Verstandesbetätigung die Regelmäßigkeit hervorgehe. Wir setzen also durch Erleben und Erinnerung nicht gesicherte Regelmäßigkeit voraus, dazu aber machen wir noch speziellere immerhin sehr kühne Annahmen über die Herkunft der Regelmäßigkeit.

Die schaffende oder ordnende Verstandesfunktion müßte unbewußt arbeiten; denn mit Bewußtsein bringe ich das Geschehen nicht hervor, welches ich z. B. vorfinde, wenn ich morgens die Augen öffne. Wie sich aber eine unbewußt tätige Funktion weiterhin verhalten wird, ob sie entsprechend der Regelmäßigkeitsvoraussetzung sich betätigen wird, erscheint an sich ebenso ungewiß, wie das Verhalten eines von meinem Verstande unabhängigen Realen. In dieser Hinsicht ist die Konventionslehre doch einleuchtender, wenn sie das Weitergehen der Regelmäßigkeit auf die bewußte Tätigkeit, die einer willkürlichen Festsetzung entspricht, zurückführt.

Die historische Durchführung des Kantschen Gedankens, daß der Verstand die Regelmäßigkeit der „empirischen Realität“ hervorbringe, darf hier unberücksichtigt bleiben; sie würde zu weiteren Einwänden Anlaß geben, die übrigens wiederholt erhoben worden sind. Wir können ferner hier die Streitfrage beiseite lassen, ob Kant überhaupt im Grunde gemeint habe, eine psychische Funktion sei Bildner der empirischen Realität, ob seine Darlegungen nicht eine andere Deutung zulassen. Freilich gibt es Ausführungen, die kaum anders als in diesem Sinne zu verstehen sind. —

Auf Grund des durch unmittelbares Erleben Gesicherten schafft der Verstand mit Hilfe einiger Voraussetzungen ein Bild des Wirklichen; unter diesen Voraussetzungen ist (nach der des Erinnerungsvertrauens) die der Regelmäßigkeit grundlegend. Sie kann nicht bewiesen werden, weil der Beweis immer schon Regelmäßigkeit voraussetzt, die nicht durch Erleben und Erinnerung gesichert ist. Was würde ich ohne Regelmäßigkeitsvoraussetzung von meinem Verstande, von meinen Erkenntnisvermögen wissen? Falls ich überhaupt ohne sie diese Begriffe bilden würde, wüßte ich nur von der Betätigung solcher „Vermögen“, soweit sie in meinem direkt bzw. durch Erinnerung erfaßten bisherigen Bewußtseinsleben liegt. Ohne die Regelmäßigkeitsvoraussetzung in irgendeiner offenen oder versteckten Gestalt komme ich nicht über das enge Gebiet hinaus, in dem ich doch nicht stehen bleiben kann.

ERKENNTNISTHEORETISCHE RECHTFERTIGUNG DER REGELMÄSSIGKEITSVORAUSSETZUNG.

Widerspruchsfreiheit und Bewährung. Wenn nun die Regelmäßigkeitsvoraussetzung ebenso wie die des Erinnerungsvertrauens in keiner Weise bewiesen werden kann, so muß ihre Anerkennung doch irgendwie begründet und gerechtfertigt werden; sonst würde sie ja rein willkürlich sein, und jedermann könnte ihr nach Belieben eine andere, willkürliche Überzeugung entgegen- und zur Seite stellen.

Widerspruchsfreiheit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Da der Satz vom Widerspruch denknotwendig ist, muß jede Voraussetzung, um bestehen zu können, in sich widerspruchsfrei sein, und sie darf nicht anderen gerechtfertigten Urteilen widersprechen. Nun ist in der Voraussetzung, daß das Wirkliche sich festen Regeln füge, kein innerer Widerspruch zu finden. Mehr Schwierigkeiten bereitet die Frage, ob die Regelmäßigkeitsvoraussetzung mit allen den Erkenntnissen vereinbar sei, die nur durch direktes Erfassen und Erinnerung gegeben werden. Das eigene Bewußtseinsgeschehen verläuft allerdings nach der Aussage der Erinnerung nicht ganz unregelmäßig; doch tritt manches Erlebnis (z. B. ein plötzlicher Knall) ganz unvermittelt in dasselbe ein. Wir haben gesehen, wie in solchen Fällen die Annahme von Realitäten außerhalb meines Bewußtseinsgeschehens die Regelmäßigkeit herstellt. In anderen Fällen erlaubt die Unsicherheit der Erinnerung, daß der Regelmäßigkeitsvoraussetzung entsprechend vergangene, ganz oder halb „vergessene“ Erlebnisse in die eigene Bewußtseinsvergangenheit eingestellt werden können. Da die Erinnerung oft in sich selbst unsicher ist, da sie zuweilen selbst eingesteht, daß sie versagt, oder gar gelegentlich zu widersprechenden Wiedergaben neigt, „schwankt“, wie wir sagen, da sie nur Wahrscheinlichkeit gibt, ist sie unter Umständen genötigt, vor den Forderungen der Regelmäßigkeitsvoraussetzung zurückzuweichen. So wird ein Widerspruch zwischen Erinnerungsvertrauen und Regelmäßigkeitsvoraussetzung beseitigt werden können.

Verhängnisvoller scheint ein Konflikt zu sein, der zwischen den Forderungen der Regelmäßigkeitsvoraussetzung und der sicheren Erkenntnis des Unmittelbar-Gegebenen entstehen könnte. Hier müssen die ersteren weichen, und sie können zurücktreten, ohne daß darum die Regelmäßigkeitsvoraussetzung durchbrochen würde. Denn ihre Forderungen sind nicht kategorisch; sie gibt nur Wahrscheinlichkeit für die Wirklichkeitserkenntnis, die auf ihr beruht — was übrigens auch den Ausgleich mit der Erinnerungsvoraussetzung insofern erleichtert, als unter Umständen die unsichere Forderung der Regelmäßig-

keitsvoraussetzung einer bestimmten Erinnerung weichen kann. — Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung fordert, daß das Wirkliche sich Regeln füge; aber sie nennt diese Regeln nicht. Wenn also eine auf Grund der Erfahrung aufgestellte Regel mit dem Evident-Unmittelbar-Erfaßten in Konflikt kommt, können wir diese Einzelregel aufgeben oder verbessern, ohne der Regelmäßigkeitsvoraussetzung zu widersprechen. Wer wiederholt schießen sah, könnte auf Grund des Erlebten und der Regelmäßigkeitsvoraussetzung zur Aufstellung der Regel neigen, daß die Gesichtswahrnehmung des Schusses immer mit gleichzeitiger Gehörswahrnehmung des Knalles verbunden sei. Die Beobachtung eines Schusses aus größerer Entfernung zeigt, daß diese Regel unkorrekt ist, nicht aber, daß die Regelmäßigkeitsvoraussetzung falsch sein muß. Die Einzelregel ist einfach zu korrigieren. Man könnte sie z. B. formulieren: die Gesichtswahrnehmung eines nahen Schusses ist regelmäßig mit gleichzeitiger Knallwahrnehmung verbunden. Möglicherweise wird auch diese neue Regel noch zu verbessern sein (wie es in unserem Beispiel der Fall ist); auch sie wird vielleicht nicht immer sich bewähren. Wenn also auch die Regelmäßigkeitsvoraussetzung durchaus festgehalten wird, wissen wir doch nie absolut sicher, ob eine von uns aufgestellte Einzelregel ausnahmslos gilt. Es bleibt immer möglich, daß in unserer Regel ein Umstand unbeachtet blieb, der doch für den Verlauf des betreffenden Geschehens von entscheidender Bedeutung ist. Je öfter wir die Regel unter sonst allseitig wechselnden Umständen bestätigt sahen, um so wahrscheinlicher wird es aber, daß wir für sie wesentliche Umstände nicht übersehen haben, daß unsere Regel streng gilt. Eine solche strenge Regel nennen wir ein Gesetz.

Wir wissen also niemals mit absoluter Sicherheit, ob wir ein echtes Gesetz vor uns haben, oder ob es sich um eine nicht ausnahmslose Regel handelt; es kann freilich ungemein wahrscheinlich werden, daß ein gesetzmäßiger Zusammenhang vorliegt. Unter diesen Umständen ist aber ein unaufhebbarer Widerspruch der Regelmäßigkeitsvoraussetzung gegen das evidente Zeugnis des unmittelbar sicheren Erfassens gegenwärtiger Bewußtseinstatsachen nicht zu befürchten. Die Einzelregeln werden oft durch dieses Zeugnis gestürzt, nicht aber die Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Wir haben schon an Beispielen gesehen, wie die Regelmäßigkeitsvoraussetzung gegenüber scheinbar widersprechenden Erfahrungen durch Einführung neuer Realitäten aufrecht erhalten wird. So schreiben wir dem sich abweichend verhaltenden Stahlstab Magnetismus zu. Gerade darauf, daß Ausnahmen von an Hand der Erfahrung aufgestellten Regeln die Regelmäßigkeitsannahme nicht stürzen, sondern dieser entsprechend interpretiert werden, fußt die Konventionslehre. Sie behauptet, die Erfahrung werde — der Regelmäßigkeitsannahme zuliebe — nicht einfach hingenommen, wie sie ist, sondern umgedeutet, bis sie sich der willkürlichen Festsetzung füge. Darum könne die Regelmäßigkeitskonvention eben aus der Erfahrung weder bewiesen noch durch diese widerlegt werden.

Zur Konventionslehre.

Darin liegt Richtiges und Verfehltes. Richtig ist, daß aus der bisherigen

Erfahrung die Regelmäßigkeitsvoraussetzung nicht bewiesen werden kann, daß sie auch nicht durch sie widerlegt wird. Vielmehr liegt die Sache so, daß dort, wo die Erfahrung um der Regelmäßigkeitsvoraussetzung willen „interpretiert" werden mußte, sehr oft gerade aus dieser Interpretation neue Bestätigungen der Voraussetzung sich ergeben haben. Als aus den Störungen in unserem Sonnensystem ein noch nicht gesehener Planet erschlossen wurde, da „interpretierten" die rechnenden Astronomen die Erfahrung, um sie festen Regeln anzupassen; aber der erschlossene Planet wurde bald wirklich gesehen, was für die Konventionslehre ganz unbegreiflich ist, weil es eine Bestätigung der echten Regelmäßigkeitsvoraussetzung darstellt, die allein solche Prophezeiungen ermöglichen kann. Verfehlt ist es auch, wenn behauptet wird, Erfahrung könne die Regelmäßigkeitsvoraussetzung gar nicht anfechten. Wenn in der Fülle des wirklichen Geschehens hier und dort einmal etwas keiner Regel sich Fügendes einträte, so würden wir wohl trotzdem unsere Voraussetzung festzuhalten suchen; wir würden die wenigen Ausnahmen etwa in der Weise fortinterpretieren, die die Konventionslehre andeutet. Würden aber die Verstöße gegen die Regelmäßigkeit häufiger und häufiger, so käme doch wohl der Zeitpunkt (wenn anders wir ihn erleben würden), in dem uns die Sache sozusagen zu arg würde; wir möchten uns doch schließlich genötigt sehen, unsere Voraussetzung einzuschränken und anzunehmen, daß vieles in der Welt sich Regeln füge, anderes hingegen nicht. —

Jedenfalls erscheint die Regelmäßigkeitsvoraussetzung mit der bisherigen Erfahrung, einschließlich des Gegenwärtig-Sicher-Erlebten, wohl vereinbar.

Wenn demnach der Grundsatz des Widerspruches unsere Voraussetzung nicht ausschließt, so ist damit doch noch keine Rechtfertigung derselben gegeben. Denn auch die Behauptung, daß die bisher herrschenden Regeln in Zukunft nicht mehr Gültigkeit behalten, enthält keinen Widerspruch in sich, noch widerspricht sie dem durch direktes Erleben und Erinnerung Gesicherten. Was gibt unserer Regelmäßigkeitsvoraussetzung einen Vorzug vor ihr?

Bewährung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Wer die Annahme einer Regelmäßigkeit des realen Geschehens rechtfertigen, wer sie etwa gegen die Umdeutung in eine bloße, willkürliche Konvention verteidigen will, wird sich auf ihre Bewährung berufen. Er wird darauf hinweisen, wie oft z. B. die auf die Voraussetzung bauenden Prophezeiungen bestätigt worden sind. Und wo das Erwartete nicht eintraf, da gab gerade die scheinbare Nichtbestätigung der Regel — indem sie eine überraschende Entdeckung darstellte — Anlaß zur Formulierung einer neuen Regel, welche neue Bestätigungen erfuhr. Als man entdeckte, daß ein Stein Eisenteile anziehe, schien dies gegen die Regel der Natur zu gehen; aber gerade auf dieser scheinbaren Ausnahme von der Regelmäßigkeit fußt die Erkenntnis der Gesetze des Magnetismus, die ihrerseits viele später bestätigte Vorhersagen ermöglichten, welche ohne echte Regelmäßigkeitsvoraussetzung nicht möglich gewesen wären.

Gewiß ist es für die Rechtfertigung einer Voraussetzung wichtig, daß sie sich bewährt. Wenn die auf der Regelmäßigkeitsvoraussetzung ruhenden Vorhersagen zukünftigen Geschehens immer häufiger keine Bestätigung gefunden

haben würden, wenn sie mit der Erfahrung immer wieder in Kollision geraten wären, so würden wir schließlich an der Voraussetzung irre geworden sein. Indessen alle Bewährung zeigt doch nur, daß die Voraussetzung zur bisherigen Erfahrung paßt. Wer mehr daraus beweisen wollte, wer aus der bisherigen Bewährung auf künftige Bestätigungen schließen würde, würde ja den Fortbestand des bisher so oft Erfahrenen, also die Regelmäßigkeitsannahme für die Zukunft voraussetzen. Ohne diese Annahme ist die durch Erleben und Erinnerung nicht gesicherte, also die eigentlich vorausgesetzte Regelmäßigkeit nicht aus der bisherigen Bewährung irgendwie ableitbar. Was an unserer Annahme Voraussetzung ist, ist durch die Bewährung nicht zu stützen; soweit die Regelmäßigkeit durch Bestätigung gesichert ist, ist sie nicht mehr lediglich vorausgesetzt. Freilich, was gestern noch lediglich vorausgesetzt war, wie die Regelmäßigkeit im heutigen Geschehen, das ist jetzt zum Teil durch Bewährung gesichert.

Man sagt wohl, die Regelmäßigkeit des Weltlaufes sei zwar nur wahrscheinlich; doch nähere sich diese Wahrscheinlichkeit infolge der fortgesetzten Bestätigungen der Gewißheit so sehr, daß sie ihr für die Bedürfnisse des Lebens und der Einzelwissenschaften gleich zu achten sei. Dabei denkt man daran, daß eine Einzelregel für die noch nicht beobachteten Tatsachen um so mehr an Wahrscheinlichkeit gewinnt, je häufiger sie sich bewährt. Indessen das letztere gilt nur, weil wir die allgemeine Regelmäßigkeit des Wirklichen schon voraussetzen, und würde ohne diese Voraussetzung ganz unbegründet sein. Darum kann die Annahme der allgemeinen Regelmäßigkeit, soweit sie nicht durch Erleben und Erinnerung gesichert ist, gar nicht wahrscheinlicher werden durch fortgesetzte Bewährung. Kommt beim Würfeln zwanzigmal hintereinander die Drei nach oben, so werden wir vermuten, dies sei kein Zufall, sondern liege in der Beschaffenheit des Würfels begründet, werde darum auch beim einundzwanzigsten Wurf wohl sich wiederholen. Aber letztere Annahme ruht auf der Voraussetzung, daß die Beschaffenheit des Würfels sich weiterhin in gleicher Weise geltend machen werde; sie schließt die Regelmäßigkeitsvoraussetzung ein. Nur wenn diese angenommen wird, steigert fortgesetzte Bestätigung einer Regel die Wahrscheinlichkeit der Annahme, daß diese in Zukunft weiter gelten werde.

Durch die sich häufenden Bestätigungen kann also die Regelmäßigkeitsvoraussetzung für die Zukunft (für das nicht bzw. noch nicht durch Erleben und Erinnerung Gesicherte) durchaus nicht an Wahrscheinlichkeit gewinnen.

Unser Vertrauen zur Regelmäßigkeitsvoraussetzung freilich steigt durch die Triumphe, die wissenschaftliche Prophezeiung in Astronomie und Technik feiert, ungemein, wie unser Glaube an die Richtigkeit von Einzelregeln um so stärker wird, je öfter sie sich bewährt haben.

Lebensnotwendigkeit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Lebensnotwendigkeit und Erkenntnisnotwendigkeit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Ihre Unentbehrlichkeit für das Erklären. Widerspruchsfreiheit und bisherige Bewährung sind unerläßliche Vorbedingungen für die Rechtfertigung unserer Voraussetzung. Zu ihren bisherigen Erfolgen kommt aber die Not hinzu, die uns zwingt, sie weiter anzuwenden. Zu-

nächst die harte Not des Lebens. Unsere Lebensführung wird nicht ausreichend durch Instinkte geleitet und beherrscht, so daß wir das Vorauswissen, das Erkennen des Zukünftigen, völlig entbehren könnten. Unser Leben fordert Sorge für das Zukünftige, die auf Vorauswissen ruht; letzteres aber fußt logisch auf der Regelmäßigkeitsvoraussetzung für die Zukunft. Diese ist also lebensnotwendig. Das ist natürlich kein logischer Beweis der Voraussetzung; ohne sie wüßten wir ja nicht, daß wir ohne Erkennen der Zukunft weiterhin im Leben nicht auskommen würden. Indessen ist es eine wirksame Rechtfertigung der Voraussetzung, die sie der Willkür entzieht. Darum kann niemand in seinem Tun und Lassen die Regelmäßigkeitsvoraussetzung ganz verleugnen. Wir rechnen alle damit, daß auf den Tag die Nacht, auf den Sommer der Herbst, auf das Leben der Tod folgen werde.

Erkenntnisnotwendigkeit der Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Der Lebensnotwendigkeit liegt die Erkenntnisnotwendigkeit zugrunde; denn nur insofern erhält und fördert die Voraussetzung unser Leben, als sie für unser Erkennen der Zukunft, des Seelenlebens unserer Mitmenschen usw. logisch notwendig ist.

Freilich, wer sein Wissen vom Wirklichen auf das eigene vergangene und gegenwärtige Bewußtseinsleben beschränken wollte, soweit dies durch Erinnerung und unmittelbares Erleben bekannt ist, wer jede weitere Voraussetzung als unbeweisbar ablehnen wollte, dessen Stellung wäre logisch ganz einwandfrei. Man könnte ihn nur darauf hinweisen, daß er bereits die ebenfalls ganz unbeweisbare Voraussetzung des Erinnerungserkennens aufgenommen habe. Indessen würde seine Stellungnahme den Verzicht auf große Erkenntnisgebiete und wichtige Erkenntnisinteressen bedeuten. Beschränkung unseres Wirklichkeitswissens auf das eigene bisherige Bewußtseinsleben würde ja einem Verzicht auf alle Realwissenschaften ganz nahe kommen. Sie handeln von einer nicht erlebten Vergangenheit und von ferner Zukunft, vom Seelenleben der Mitmenschen und von Körpern außerhalb des Bewußtseins. Diese ungeheuer weiten Erkenntnisgebiete kämen zum Fortfall. Sollen sie bestehen bleiben, so müssen wir an unserer Voraussetzung festhalten.

Ihre Bedeutung für Erklären und Verstehen.

Überdies aber würden durch Preisgabe der Regelmäßigkeitsvoraussetzung andere grundwichtige Erkenntnisinteressen verletzt. Wir müssen uns klar machen, daß ein Erklären und Verstehen nur da möglich ist, wo Regeln das Wirkliche beherrschen. Was sich nicht in bekannte Regeln fügt, was ihnen gar widerstreitet, erscheint unverständlich. So versteht man etwa nicht, wie man durchs Telephon mit einem Freunde sprechen kann, den man viele Meilen weit entfernt weiß; aber dies erscheint verständlich, wenn es aus den festen Regeln, den Gesetzen der Elektrizitätslehre abgeleitet wird. Wir verstehen nicht, wie ein Mensch, der sich immer ehrlich verhielt, uns nun selbstsüchtig betrügen konnte; wir lernen es verstehen, wenn wir merken, daß auch seine Ehrlichkeit auf selbstsüchtiger Berechnung beruhte, so daß der Betrug als ein Produkt der gleichen Gesinnung erscheint, die regelmäßig sein Tun beherrschte. Ich verstehe die Tat eines Menschen, wenn mir deutlich wird, daß ich in gleicher Lage wohl ebenso handeln könnte, daß seine und meine Neigungen derselben Regel un-

terstehen. Eine naturwissenschaftliche oder psychologische Erklärung ist eine Zurückführung auf feste Regeln und Gesetze; durch sie erklärt der Physiker die Elektrisiermaschine, der Psychologe das Mitleid. Natürlich muß das Gesetz, durch welches man etwas erklärt, selbst bekannt sein; so sagt man auch wohl, Erklären sei Zurückführen auf Bekanntes. Man erklärt dem Kinde, was ein Meer sei, indem man anknüpft an einen Teich oder See, die dem Kinde bekannt sind. Auch hier ist Voraussetzung der Erklärung , daß Teich und Meer sich in ihren Eigenschaften und Erscheinungen gleichen. Der Teich enthält viel Wasser, ist tief, gefährlich; man kann auf ihm Kahn fahren, in ihm baden, fischen usw. Das alles gilt auch vom Meer; insofern ordnen sich Teich und Meer gleichen Regeln unter, die ihre charakteristischen Merkmale in Zusammenhang bringen. — Übrigens ist im letzten Beispiel vom Erklären in einem besonderen Sinne die Rede. Es handelt sich darum, dem Kinde eine Wortbedeutung zu vermitteln. Das ist natürlich eine Aufgabe, die von der vorher charakterisierten der Erklärung einer Tatsache, eines Vorganges wohl zu unterscheiden ist.

Erklären und Verstehen kann also nicht weiter reichen, als die Regelmäßigkeit des Wirklichen reicht. Ein plötzlich in mein Bewußtsein hereinbrechendes lautes Geräusch wird verständlich, wenn ich es als regelmäßige Wirkung einer außerbewußten Ursache, etwa des Fallens eines Brettes, auffasse. Die Annahme, daß alles Wirkliche sich Regeln fügt, ist Voraussetzung der Verständlichkeit desselben. Wer mutig daran gehen will, die Welt verstehen und erklären zu lernen, muß voraussetzen, daß sie bis in die kleinsten Einzelheiten unter Regeln steht. Jede Ausnahme von einer Regel bleibt unverständlich, solange sie sich nicht als Erfüllung einer Regel erweist. Soll das Wirkliche im Prinzip ganz erklärbar sein, so muß jeder Durchbruch einer Regel selbst die Bestätigung einer anderen Regel darstellen, die über der durchbrochenen Regel steht, weil sie das Durchbrechen derselben beherrscht; die Regelmäßigkeit des Gesamtwirklichen muß eine absolut strenge sein, so daß wir von einer Gesetzmäßigkeit sprechen dürfen, sofern dies Wort strenge Regelmäßigkeit bedeutet. — So nennt Windelband die (kausale) Gesetzmäßigkeit oberste logische Voraussetzung für die Möglichkeit, den Zusammenhang unserer Erfahrungswelt erfolgreich zu erklären.

In der Notwendigkeit für weite Erkenntnisgebiete und wichtige Erkenntnisinteressen liegt eine Rechtfertigung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung, die sie der Willkür entzieht. Die Regelmäßigkeitsvoraussetzung kann so wenig bewiesen werden wie die Voraussetzung der Erinnerungserkenntnis. Aber beide sind notwendig für das Erkennen, wie es in Wissenschaft und Leben vorliegt. Die Erkenntnistheorie kann diese letzten Voraussetzungen nicht beweisen; wer dies von ihr fordert, verlangt Unmögliches. Aber indem sie die letzten Voraussetzungen unseres Erkennens ans Licht bringt und zeigt, was diese in ihrer Gesamtheit für dasselbe leisten, kann die Erkenntnistheorie deren Unentbehrlichkeit für unser Erkennen und unsere Wissenschaft dartun. Das entzieht die Voraussetzungen der Willkür und muß zur Rechtfertigung dienen.

Einwand gegen die Rechtfertigung durch die Notwendigkeit für unsere Wirklichkeitserkenntnis.

Freilich schließt diese Rechtfertigung nicht aus, daß ich mir die nicht unmittelbar gegebene Wirklichkeit anders zurechtlegen kann, als es die Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens und die Regelmäßigkeitsvoraussetzung fordern, ohne daß man mich streng logisch widerlegen könnte; so kann ich mir z. B. leicht ein vielen, wenn auch nicht allen festen Regeln widersprechendes Phantasiebild der Zukunft ausmalen; so wird vielfach angenommen, daß unsere Willensentschlüsse sich nicht durchweg festen Regeln fügen. — Man könnte darauf hinweisen, daß bis vor nicht allzu langer Zeit die Euklidsche Geometrie (die Geometrie des ebenen dreidimensionalen Raumes) die einzig existierende war, daß aber schließlich andere Geometrien, die auf anderen Axiomen beruhen, neben jener sich als möglich erwiesen haben und wissenschaftlich ausgebildet worden sind. So könnte eine Zeit kommen, die uns ein System der Realwissenschaften brächte, welches das unmittelbar sicher Gegebene auf Grund anderer Prinzipien ergänzt und so eine andere Wirklichkeit aufbaut. Vielleicht wäre in ihm von Vergangenheit und Zukunft nicht die Rede — in der Philosophiegeschichte ist der Gedanke unzeitlicher Wirklichkeiten ja tatsächlich aufgetaucht. Vielleicht aber würde Vergangenheit und Zukunft in anderer Weise mit wirklichem Geschehen ausgefüllt, als es auf Grund unserer gänzlich unbewiesenen Voraussetzungen geschieht. Nichts hindert mich, schon gegenwärtig eine Skizze einer solchen neuen „Realwissenschaft vom Zukünftigen" zu entwerfen, indem ich etwa voraussetze, daß im allgemeinen die Zukunft sich zwar nach den „Gesetzen" richte, die die bisherige Wirklichkeitserkenntnis zum Prophezeien benutzt, daß diese aber nicht mehr ausnahmslos gelten werden, vielmehr insofern Durchbrüche erleiden werden, als in Zukunft die Menschen weder Schmerz noch Not noch den Tod erleiden werden. Meine Skizze mag dürftig ausfallen; im Prinzip wäre sie nicht unbeweisbarer als das, was die Astronomen an wissenschaftlichem Vorhersagen bieten — solange nicht die Regelmäßigkeitsvoraussetzung bereits aufgenommen ist. (Übrigens kann man unter Anerkennung der Voraussetzungen des Erinnerungsvertrauens und strenger Regelmäßigkeit alles Geschehens ganz seltsame „Realwissenschaften des Zukünftigen" konstruieren. Beiden Voraussetzungen genüge ich, wenn ich annehme, daß von jetzt ab sich der Weltlauf der letzten hundert Jahre genau wiederholt und daß diese Periode ewig wiederkehrt.) Nachdem so auf Grund verschiedener Voraussetzungssysteme verschiedene „Realwissenschaftssysteme", die alle vom unmittelbar sicher Gegebenen ausgehen, nebeneinandergestellt sind (dasjenige, das als Voraussetzung annähme, es gebe nichts Wirkliches als das von mir unmittelbar sicher Erlebte, könnte man auch hinzustellen), kann man die Voraussetzungen der landläufigen Realwissenschaften nicht mehr dadurch der Willkür entziehen, daß man sie als notwendig für die landläufige Wirklichkeitsforschung erweist. Denn diese repräsentiert nur ein „Realwissenschaftssystem" unter vielen, nachdem die neuen Systeme hinzugefügt sind. Welches System der Realwissenschaften und der zugehörigen Voraussetzungen soll nun zum Prophezeien benutzt werden? Zu gleicher Zeit können die verschiedenen Systeme nicht dazu benutzt werden, sofern sie sich wider-

sprechen; die Entscheidung zwischen ihnen aber wäre, rein logisch betrachtet, willkürlich.

Dies alles mag zeigen, was die erkenntnistheoretische „Rechtfertigung" der betreffenden Voraussetzungen nicht zu leisten vermag. Schließlich bleibt es dabei, daß sie unbeweisbar sind und rein auf Glauben beruhen. Man kann die Voraussetzungen als logische Grundlagen unserer Wirklichkeitserkenntnis aus dieser ableiten, herausholen, und das ist ein einwandfreies erkenntnistheoretisches Beginnen. Man kann indessen die Voraussetzungen nicht auf die Wirklichkeitserkenntnis stützen, die sich ja ihrerseits nur auf jene Voraussetzungen stützen kann.

Der natürliche Glaube des gesunden Menschenverstandes als letztes Fundament. Die Voraussetzungen der Erinnerungserkenntnis und der Regelmäßigkeit sind notwendig für unsere Realwissenschaften. Diese selbst aber erscheinen vom Standpunkte strenger Logik aus als ein System, dem andere mögliche Realwissenschaftssysteme zur Seite gestellt werden könnten. Unsere Realwissenschaften erscheinen nicht als die allein möglichen und demnach könnten auch die für sie erforderlichen Voraussetzungen nicht als die einzig möglichen erscheinen. Die Notwendigkeit derselben wäre also nur eine relative; sie könnten durch andere ersetzt werden. Die Rechtfertigung der Voraussetzungen durch ihre Erkenntnisnotwendigkeit setzt die Geltung unserer Realitätserkenntnis voraus; letztere aber braucht ihrerseits jene Voraussetzungen als Fundament.

Unsere Realitätserkenntnis ruht auf einem natürlichen Glauben des gesunden Verstandes.

Das ist, logisch betrachtet, eine hoffnungslose Situation. Es gibt zuletzt nur einen Ausweg aus derselben, der allerdings den Logikern und kritischen Philosophen sehr ungelegen liegt: Nur die Berufung auf den natürlichen Glauben des gesunden Menschenverstandes kann weiterhelfen. Warum glauben wir an unsere landläufige Realitätserkenntnis und nicht an jene „Realwissenschaftssysteme", jene Gebilde von Annahmen über das nicht unmittelbar erlebte Wirkliche, die, logisch betrachtet, daneben ebensogut möglich sind? Die Antwort lautet: Wir glauben an das eine System und nicht an die anderen Systeme, weil es eben für den gesunden Menschenverstand keine andere Möglichkeit gibt. Ich kann mir noch so oft verdeutlichen, daß es auf unbeweisbaren Voraussetzungen beruht, wenn ich glaube, daß es heute wieder Nacht werden wird, daß ich altern und sterben werde; ich zweifle trotzdem nicht daran. Alle die anderen Annahmensysteme, die man in bezug auf die Zukunft oder auf die Vergangenheit willkürlich aufstellen mag, sind ohne unsere beiden Voraussetzungen unwiderlegbar; aber trotzdem kann ich jenen Systemen kein Vertrauen schenken.

Nicht die abstrakten Voraussetzungen des Erinnerungsvertrauens und der Regelmäßigkeit des Wirklichen werden mir unmittelbar durch natürlichen Glauben aufgezwungen. Dieser bzw. der gesunde Menschenverstand gibt mir zunächst allerhand Erkenntnisse über das nicht unmittelbar durch gegenwärtiges Erleben gesicherte Wirkliche, über Vergangenheit und Zukunft, über das Seelenleben meiner Mitmenschen und die Körperwelt außerhalb solchen Seelenlebens.

Die Wissenschaft führt die Erkenntnisarbeit im Sinne des gesunden Menschenverstandes, des natürlichen Glaubens, fort. Wenn ich dann die gewonnene Erkenntnis auf ihre logischen Voraussetzungen hin prüfe, so finde ich, daß Erinnerungsvertrauen und Regelmäßigkeitsannahme ihr logisch zugrunde liegen, daß beide notwendig sind für jene Erkenntnis, soweit sie das unmittelbar sicher Gegebene überschreitet.

Der Nachweis der Erkenntnisnotwendigkeit jener Voraussetzungen ist nicht bedeutungslos. Aber zuletzt ruhen mit der Realitätserkenntnis selbst auch die für sie notwendigen Voraussetzungen auf einem Glauben, der durch die denknotwendigen Grundsätze der Logik oder andere schlechthin evidente Erkenntnisse nicht begründbar ist, der vom natürlichen Menschenverstande jedoch beibehalten wird, soweit er nicht mit festeren Überzeugungen in Konflikt kommt. Bei solchem Konflikt weicht die schwächere Überzeugung.

Bedenken gegen die Berufung auf den natürlichen Glauben des gesunden Verstandes.

Eine ernste Schwierigkeit bei der Berufung auf den natürlichen Glauben des gesunden Menschenverstandes, in dem unsere Wirklichkeitserkenntnis wurzelt, liegt ohne Frage darin, daß dieser nicht selten in der Entwicklung des Erkennens, insbesondere des wissenschaftlichen, zurückweichen und Korrekturen erdulden mußte. Welche Überzeugung könnte uns natürlicher sein als die, daß Sonne, Mond und Sterne bei Tag oder Nacht über das Himmelsgewölbe hinziehen, oder daß die Rosen das Rot, wie wir es sehen, auch tragen, wenn niemand es erblickt. Diese Überzeugungen ergeben sich ganz von selbst bei der natürlichen Betätigung unserer psychophysischen Organisation. Sie resultieren aus der Natur unseres Wahrnehmungsvermögens in ähnlicher Weise wie das Erinnerungsvertrauen aus der Natur unseres Erinnerungsvermögens entspringt.

Jedoch solche Überzeugungen können stärkeren weichen. So unterliegt ein natürlicher Glaube etwa dem Widerspruchsprinzip; oder eine Erwartung des gesunden Menschenverstandes wird vernichtet durch die Evidenz des unmittelbar Erlebten, wenn wir z. B. staunend bemerken, daß ein graues Papier grün erscheint, sobald wir es auf roten Hintergrund bringen.

Trotzdem bleibt diese unentbehrlich.

Trotzdem bleibt der natürliche Glaube des gesunden Menschenverstandes eine unentbehrliche Grundlage unserer Wirklichkeitserkenntnis. Dieser Glaube weicht eben nur einer stärkeren Überzeugung. Wo eine solche nicht im Wege steht, halten wir an ihm fest. So glauben wir weiter an das, was unsere Erinnerung uns berichtet, und wir gründen unsere Erwartungen auf den regelmäßigen Lauf der Dinge, soweit nicht eine stärkere Überzeugung, wie z. B. die Evidenz des Widerspruchsprinzips, uns zwingt, unseren Glauben zu korrigieren.

Unser natürliches Vertrauen auf die Erinnerung und auf die Regelmäßigkeit des Weltlaufes, unser Glaube an das Seelenleben der Mitmenschen und an eine Wirklichkeit außerhalb solchen Seelenlebens sind so stark, daß wir an ihnen festhalten, obwohl uns daraus neben Bewährungen gelegentlich auch Enttäuschungen unserer Erwartungen erwachsen sind. Obgleich wir einsehen, daß es sich um Voraussetzungen handelt, die zuletzt gegenüber anderen Voraussetzungssystemen nichts für sich haben als die natürliche Bevorzugung durch den gesunden Verstand, halten wir an jenen fest, weil wir nicht anders können.

Zur Psychogenese der Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Psychologisches zur Entstehung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung. Logisch-erkenntnistheoretisch betrachtet erscheint die Regelmäßigkeitsvoraussetzung wie die Voraussetzung des Erinnerungsvertrauens als etwas Letztes, Nicht-Ableitbares und Apriorisches. Damit ist durchaus nicht gesagt, daß auch für die psychologische Betrachtung diese Voraussetzungen letzte Tatsachen des Seelenlebens darstellen müßten, die in keiner Weise abgeleitet und erklärt werden könnten. Es wurde schon kurz dargelegt, daß die Erinnerungsvoraussetzung sich ergibt durch Reflexion auf die Vorgänge des Sich-Erinnerns, auf diese Betätigung unserer seelischen Organisation. Für die Regelmäßigkeitsvoraussetzung gilt Ähnliches; doch spielt hier auch das Erleben von Regelmäßigkeiten neben der eingeborenen Organisation bei der Psychogenese eine Rolle.

Wir brauchen nur darüber nachzudenken, welche Annahmen wir auf Grund unserer natürlichen seelischen Organisation über das nicht direkt erlebte bzw. erinnerte Wirkliche machen; dann kommt uns zum Bewußtsein, daß hinter solchen Annahmen über Zukünftiges und Vergangenes, über Denken und Fühlen unserer Mitmenschen, über Räumlich-Fernes usw. sich die Regelmäßigkeitsvoraussetzung als logische Grundlage verbirgt. Die erlebte Regelmäßigkeit und die Bestätigung der auf der Voraussetzung ruhenden Erwartungen tragen aber ihrerseits dazu bei, die Voraussetzung zum Bewußtsein zu bringen. Andererseits wirken erlebte Regelmäßigkeiten und Bestätigungen auch mit bei der Ausbildung der natürlichen seelischen Anlage, die sich in jenen Annahmen über das Zukünftige usw. betätigt.

Ohne etwas von der Regelmäßigkeitsvoraussetzung zu wissen, erwarten wir, daß dem Winter der Frühling folgt, daß ein losgelassener Stein zu Boden fällt; wir glauben, daß wir einst sprechen und gehen lernen mußten. Solche Erwartungen und Überzeugungen gehen als natürliche Produkte aus unserer seelischen Organisation hervor. Aber die mit unserer Organisation gegebene Anlage gelangt andererseits zur Ausbildung durch die Erfahrung, daß dem Tage die Nacht, dem Winter der Frühling wiederholt folgte; die Bestätigung früherer Erwartungen bestärkt unser Vertrauen und befördert so wiederum die Betätigung jener Anlage.

Über angeborene Grundlagen unseres Erkennens.

Die älteren Erkenntnistheoretiker mit ihren erkenntnispsychologischen, psychogenetischen Fragestellungen stritten heftig darum, ob gewisse Grundlagen unseres Erkennens angeboren seien oder nicht; diese Frage schied Rationalisten und Empiristen. Descartes, den wir als Vater des neuzeitlichen Rationalismus bezeichnen dürfen, hatte entschieden die Annahme angeborener Ideen vertreten. Allerdings hatte er nicht gemeint, daß die als „*innatae*" bezeichneten Ideen oder Begriffe als bewußte, fertige Gebilde dem Kinde angeboren wären; die empiristische Kritik, die sich gegen diese extreme Lehre richtete, machte sich ihre Aufgabe allzu leicht; man spricht darum besser von einem „Eingeboren"-Sein. Durch Leibniz wurde die Lehre ausgebildet, daß das Eingeborene in Funktionsweisen des Geistes zu suchen sei, die an der Hand der Erfahrung zur Betätigung und Entwicklung gelangen. Der neuzeit-

liche Empirismus führt aber bei seinem großen Klassiker D. Hume gleichfalls zu der Erkenntnis, daß Funktionsweisen bzw. Gesetze unserer seelischen Organisation an Hand der Erfahrung zu Grundsätzen wie dem Kausalprinzip führen.

Wir wollen die Streitfrage als eine erkenntnispsychologische nur streifen. Von einem An- oder auch Eingeborensein der fertigen Regelmäßigkeitsvoraussetzung kann nicht die Rede sein. Aber die Anlage zum induktiv-analogischen Schließen ist offenbar zum Teil mit unserer ererbten seelischen Organisation gegeben und kommt auf Grund der Erfahrung zur Ausbildung. Die großen englischen Empiristen dürften auch darin recht haben, daß sie diese Anlage mit den sogenannten Assoziationsgesetzen in Zusammenhang bringen. Der Hund, der mehrfach gesehen hat, wie auf das Hutaufsetzen seines Herrn der Ausgang folgt, erwartet solchen Ausgang, wenn er sieht, wie sein Herr den Hut nimmt. Auch wer weit davon entfernt ist, diese Erwartung als bloße Wiederbelebung („Reproduktion") der „Vorstellung" des Ausgangs im Sinne einfachster Assoziationspsychologie zu deuten, wird gelten lassen, daß hier Assoziation zwischen Hutaufsetzen und Ausgang (bzw. den Gedächtnis-„Residuen", die von beiden Erlebnissen herrühren) eine grundlegende Rolle spielt. Die Assoziation von unmittelbar aufeinanderfolgenden Erlebnissen beruht aber ohne Frage auf der ererbten Organisation. Diese ermöglicht also, indem sie an Hand der Erfahrung in Funktion tritt, Erwartungen, welche logisch die Regelmäßigkeitsvoraussetzung fordern. Die Zweckmäßigkeit von in solcher Weise assoziativ bedingten Erwartungen setzt Regelmäßigkeit des Weltlaufes voraus. Würde die regelmäßige Folge zweier Ereignisse a und b nicht fortbestehen, so wäre es unzweckmäßig, wenn der Eintritt von a das b erwarten ließe. Die Funktionsweise unserer Organisation, welche sich in der assoziativ bedingten Erwartung offenbart, ist also der Regelmäßigkeit des Weltlaufes angepaßt.

Bedeutung der Erfahrung bei der Psychogenese der Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

So weist die psychologische Untersuchung einerseits auf die angeborene Organisation zurück. Andererseits aber kann kein Zweifel darüber bestehen, daß allein die Erfahrung von Regelmäßigkeiten und die Bestätigung unserer Erwartungen das Bewußtwerden und die Präzisierung der Voraussetzung ermöglichen. Hier kommen offenbar gewisse auffällige Gleichförmigkeiten des Weltlaufes, die sich schon den Naturvölkern aufdrängen, zunächst in Betracht, wie der Wechsel der Tages- und Jahreszeiten, der Gezeiten, die alles dies beherrschende Regelmäßigkeit im Wandel der Gestirne, die Folge von Leben und Tod. Kommen Regeln als solche zum Bewußtsein und finden sie dann weiterhin Bestätigung, so wird der Regelmäßigkeitsgedanke an Macht gewinnen. Aber das vorwissenschaftliche Denken ist weit davon entfernt, strenge Regelmäßigkeit, Gesetzmäßigkeit des ganzen Weltgeschehens vorauszusetzen. Daß die Launen des Schicksals und der Menschen, daß jeder Windstoß, jeder Regenschauer und jeder Sonnenstrahl durch feste Gesetze bestimmt seien, kommt einem von wissenschaftlichen Einflüssen kaum berührten Manne nicht in den Sinn. Religiöse Vorstellungen, wie der Glaube an einen allmächtigen und allwissenden Weltschöpfer (und die darauf fußende Prädestinationslehre), können solche Gedanken

Durchbildung derselben durch die Wissenschaft.

vorbereiten. Indessen ist es die Wissenschaft, welche die Durchbildung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung erfolgreich zum Ziele führt. Sie weist immer wieder Regel und Gesetz auch dort nach, wo Regellosigkeit zu herrschen schien, und ihre Vorhersagen und Vorausberechnungen führen zu einer Fülle glänzender Bestätigungen. Besonders die Astronomie und die Physik sowie die technische Verwendung der Naturerkenntnis haben den Glauben an strenge, alles beherrschende Gesetzmäßigkeit ausgebildet und verbreitet. Dies geschah nicht nur durch Auffinden und Bestätigung von Gesetzen, sondern auch durch die Einsicht, daß Gesetzmäßigkeit des Naturgeschehens für das Ideal der Naturerkenntnis und Naturerklärung sowie der Naturbeherrschung notwendige Voraussetzung sei, also durch erkenntnistheoretische, philosophische Reflexion (z. B. bei Kepler bezüglich der Astronomie). — Hier wie in anderen spezielleren Prinzipienfragen (Atomhypothese, mechanistische Auffassung in der Physik, Mechanismus-Vitalismusproblem) hat die Philosophie, die freilich Naturwissenschaft noch einschloß, dieser den Weg bereitet, und zwar schon im Altertum.

So ist unter dem Einfluß der Wissenschaft und ihrer praktischen Verwertung die Annahme der Gesetzmäßigkeit des Wirklichen zu etwas fast Selbstverständlichem geworden, gegen das man sich nur dort auflehnt, wo man die tiefsten Interessen der Sittlichkeit und der Religion gefährdet glaubt, etwa bei der Frage nach der Willensfreiheit. In der Tat macht die Fülle von exakten Gesetzen, über welche die Realwissenschaften verfügen, und die schier unübersehbare Menge von Bestätigungen der Gesetzmäßigkeit des Wirklichen, wie sie in allen erfolgreichen Vorhersagen des Zukünftigen, besonders auch in jedem gelungenen Werke der Technik, vorliegen, auf unseren Geist einen gewaltigen Eindruck. Wer jedoch die Entstehungsgründe der Voraussetzung strenger Regelmäßigkeit alles Wirklichen auf ihren logischen Gehalt prüft, wird deren völlige logische Unzulänglichkeit anerkennen müssen. Die Fülle der Erfahrungen verschwindet vor der unabsehbaren Ausdehnung des Nichterfahrenen, dessen Regelmäßigkeit wir nur voraussetzen können; und so sorgfältig auch die Messungen der Physiker sein mögen, absolute Exaktheit ist ihnen für immer ein unerreichbares Ideal, so daß die Behauptung absolut strenger Gesetzmäßigkeit selbst im Gebiete des Erfahrenen niemals geprüft und bestätigt werden kann.

Psychologie und Wissenschaftsgeschichte können allenfalls verständlich machen, wie die Regelmäßigkeitsvoraussetzung entstand und ausgebildet wurde. Eine logisch strenge Begründung wird uns damit nicht geboten; eher werden wir dadurch gerade auf die Unbeweisbarkeit der Annahme aufmerksam. Die psychologischen und historischen Überlegungen, durch die wir uns die Entstehung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung auf Grund der seelischen Organisation und der Erfahrung erklären, wären selbst ohne Regelmäßigkeitsvoraussetzung der logischen Grundlage beraubt; denn ohne diese wäre unser Erkennen auf das eigene bisherige Bewußtseinsleben eingeschränkt.

Über die empiristische Auffassung bei Hume und St. Mill.

St. Mill, der große Logiker des Empirismus, weist mit Nachdruck darauf hin, daß die Überzeugung von der Regelmäßigkeit („Gleichförmigkeit") des Geschehens zustande kommt wie die Annahme speziellerer Gleichförmigkeiten,

nämlich durch Verallgemeinerung, durch Induktion. Weil die Erfahrung immer wieder zeigte, daß die Menschen starben, nehmen wir verallgemeinernd an, daß alle Menschen sterben. Weil die Erfahrung immer wieder Gleichförmigkeiten gezeigt hat, nehmen wir an, daß alles Wirkliche sich Regeln fügt. In der Tat führt uns dieser Induktionsschluß zur Regelmäßigkeitsannahme hin; er gibt ihr aber kein festes logisches Fundament, weil er sie voraussetzt. So fußen ja auch nach St. Mill speziellere Induktionen auf der Gleichförmigkeitsannahme. Übrigens hat Mill den Voraussetzungscharakter der Regelmäßigkeitsannahme gelegentlich durchaus erkannt — wie ja auch Hume das Kausalprinzip keineswegs logisch beweisen wollte, indem er es psychologisch ableitete. Der Empirismus geht aus der psychologischen Fragestellung hervor, nimmt das psychogenetische Problem auf, das sich der Rationalismus oft durch weitgehende Annahme eingeborener Erkenntnis allzu leicht gemacht hatte. Eine Erkenntnis kann aber psychologisch durch Erfahrung und Verallgemeinerung zustande kommen und doch im erkenntnistheoretischen Sinne *a priori* sein, weil sie nicht durch die Erfahrung bewiesen werden kann. Dies ist bei der Beurteilung der Leistungen des Empirismus oftmals ohne rechte Berücksichtigung geblieben.

DIE GESETZMÄSSIGKEITSVORAUSSETZUNG.

Die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung als Produkt der Wissenschaft.

Regelmäßigkeits- und Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung. Die Voraussetzung, daß Gesetze das Weltgeschehen bis in alle Einzelheiten mit absoluter Genauigkeit bestimmen, ist ein Produkt der Wissenschaft, das nur mit Vorbehalt auf den natürlichen Glauben des gesunden Menschenverstandes zurückgeführt werden kann. Steht ihr doch z. B. die verbreitete Überzeugung entgegen, daß unsere Willensentscheidungen nicht in solcher Weise durch Gesetze festgelegt seien.

Indem die Wissenschaft immer neue Regelmäßigkeiten mit steigender Genauigkeit aufweist und bestätigt, scheint sie auf eine absolute Weltgesetzmäßigkeit hinzuweisen. Der menschliche Geist hat eine Tendenz zum Absoluten, Radikalen und Einfachen; diese Tendenz läßt uns das Ziel, auf welches die Realwissenschaften hinzuweisen scheinen, vorwegnehmen. Aus der unvollständigen und ungenauen Regelmäßigkeit, welche für das vorwissenschaftliche Erkennen völlig genügt, wird so die vollständige, exakte, absolute Gesetzmäßigkeit, wie sie z. B. der Physiker auf seinem Forschungsgebiete voraussetzt.

Wir haben bisher zumeist mit absichtlicher Unbestimmtheit von einer „Regelmäßigkeitsvoraussetzung" und von dem, was sie besagt, gesprochen, um die Untersuchung vorläufig nicht mit den Problemen zu beschweren, die hinzukommen, wenn es sich speziell um die Annahme absoluter Gesetzmäßigkeit handelt. Das bisher Versäumte ist nun nachzuholen. Hier kommen natürlich nur Gesetze des Wirklichen, wie sie in der Naturwissenschaft, der Psychologie usw. erforscht werden, in Betracht, nicht aber idealwissenschaftliche Gesetze, wie die der Arithmetik; auch die normativen (z. B. ethischen oder staatlichen) Gesetze kommen nicht in Frage.

Der Begriff des Gesetzes.

Man bestimmt wohl das Verhältnis des Gesetzesbegriffes zum Begriff der Regel, indem man das Gesetz als ausnahmslose Regel bezeichnet. Eine Wetterregel erleidet Ausnahmen, die physikalischen Gesetze, welche die meteorologischen Erscheinungen beherrschen, dagegen nicht. Statt die Gesetze als stets gültige Regeln zu bezeichnen, kann man sie auch unbedingt gültig nennen. Was unter allen Umständen, also unbedingt gilt, das gilt eben immer, zu allen Zeiten und an allen Orten. Vielleicht will man noch etwas anderes zum Ausdruck bringen, wenn man die Gesetze als unbedingt gültige Regeln definiert: das Gesetz soll nicht nur immer und überall, wo es im Wirklichen zur Anwendung kommen kann, sich als gültig erweisen; es würde auch unter Umständen, die vielleicht nirgends und niemals verwirklicht sind, seine Gültigkeit behalten. Was un-

bedingt gilt, gilt nicht nur in allen wirklichen, sondern in allen überhaupt möglichen Fällen. — Für die Wirklichkeitserkenntnis wäre damit freilich nichts weiter erreicht als mit der Annahme ausnahmsloser Gültigkeit; was in Fällen geschehen möchte, die niemals wirklich sind, das ist für die Wirklichkeitserkenntnis ganz gleichgültig.

Man bezeichnet die Gesetze auch wohl — im Anschluß an Kantsche Gedanken — als notwendige Regeln. Wenn z. B. b nicht nur immer auf a folgt, sondern mit Notwendigkeit folgen muß, dann liegt ein Gesetz vor. Hier wäre nun zu fragen, was unter dieser Notwendigkeit, diesem Müssen zu verstehen ist. Der Begriff der Notwendigkeit ist ein Kreuz der Philosophie; suchen wir nach Definitionen, so werden wir nicht selten auf den Gesetzesbegriff zurückgewiesen: notwendig ist, was von einem Gesetz gefordert wird; oder der Begriff wird gar als unableitbar bezeichnet. Jedenfalls heißt dasjenige im strengsten Sinne notwendig, was sein muß, was nicht anders sein kann. Fragen wir uns nun, ob es für die Wirklichkeitserkenntnis eine Bedeutung hat, wenn wir die regelmäßige Folge von b auf a nicht nur ausnahmslos, sondern notwendig nennen, wenn wir sagen: b muß auf a folgen, kann gar nicht anders als auf a folgen! Offenbar wissen wir über das Wirkliche damit nicht mehr, als wenn uns gesagt wird, b folgt immer und überall auf a. Unter diesen Umständen ist es aber einfacher und klarer, von einer ausnahmslosen, statt von einer unbedingten oder notwendigen Regel zu sprechen.

Für mich als handelnde Person macht es allerdings einen Unterschied, ob ich sage: ich werde immer so handeln, oder: ich muß notwendig so handeln; denn ich kann das Müssen, den Zwang, die Notwendigkeit erleben. Wenn wir aber sagen, in der Natur folge das b mit Notwendigkeit auf das a, so legen wir diese Notwendigkeit in einen Zusammenhang hinein, ohne zu wissen, ob sie hineingehört. Möglich wäre es allerdings, daß es für das b in der Natur auch so etwas gäbe, wie das Müssen, wie die Notwendigkeit, die wir erleben; wir wissen ja nicht, wie reich die Wirklichkeit ist.

In einem anderen Sinne kann ein Naturgesetz mit mehr Recht als notwendig bezeichnet werden. Wenn aus einem feststehenden Gesetze ein spezielleres abgeleitet wird, so muß ich das letztere anerkennen; insofern erscheint es als notwendig, als gefordert durch das allgemeinere Gesetz und die Ableitung; in anderen Fällen erscheint ein Gesetz als durch Beobachtungen gefordert. Dabei sind wir es, die die Forderung, die Notwendigkeit erleben. In gleichem Sinne kann man auch sagen, b folge notwendig auf a, wenn dies aus einem Gesetz, einer ausnahmslosen Regel, gefolgert wird: wenn allemal auf a ein b folgt, so muß dies notwendig auch bei einem bestimmten, vorliegenden a der Fall sein. Auch hier erfahre ich dies Müssen, indem ich folgere. Aber mein Einblick in die Natur ist nicht tiefer, wenn ich sage b muß folgen, als wenn es heißt, b folgt in diesem Falle, weil es immer folgt. —

Stellen Naturgesetze ausnahmslose Regeln dar?

Nun ergibt sich aber eine Schwierigkeit, wenn wir die von den Wissenschaften aufgestellten Gesetze ins Auge fassen. Selbst wenn wir uns den Naturwissenschaften zuwenden, in denen man doch vollkommene Wirklichkeitsgesetze anzu-

treffen erwartet, finden wir keineswegs lauter ausnahmslose Regeln. Da heißt es vielleicht, ein Leiter (z. B. Eisendraht) wird erwärmt, wenn der elektrische Strom ihn durchfließt; taucht man aber den Leitungsdraht in Eiswasser, so erwärmt er sich nicht, sondern er wird vielleicht von dem Augenblick an kälter, in dem der Strom zu fließen beginnt. Jede Masse zieht nach dem Gravitationsgesetz jede andere an. Die beiden gleichnamig elektrischen Goldblättchen des Elektroskopes aber stoßen sich trotz dieses Gesetzes ab.

In der Tat ist es keine ausnahmslose Regel, aber auch kein Naturgesetz, daß ein Leiter wärmer wird, wenn ein elektrischer Strom in ihm fließt. Aber es ist ein Gesetz, daß in einem stromdurchflossenen Leiter Wärme entsteht; wird ihm gleichzeitig viel Wärme entzogen, so kann er — z. B. in Eiswasser — trotz jener Wärmeproduktion kälter werden. So ziehen sich auch die Goldblättchen des Elektroskopes an; aber die elektrischen Ladungen treiben sie trotz dieser sehr schwachen Anziehung auseinander, freilich mit entsprechend verminderter Kraft.

Man kann nun freilich sagen, die Goldblättchen ziehen sich offensichtlich nicht an im geladenen Elektroskop, sondern sie eilen auseinander. Das ist der beobachtete reale Vorgang; dagegen ist die schwache Anziehung etwas Gedachtes, ebenso wie die abstoßende Kraft, die sie überwindet, indem sie dabei selbst eine Einbuße erleidet. Damit stoßen wir auf das Problem, ob solche Kräfte etwas Reales oder bloße Hilfsbegriffe rein gedachten, fiktiven Charakters sind, was an dieser Stelle nicht untersucht werden kann. Möglich ist es jedenfalls, daß die Anziehungskraft, von der der Physiker spricht, mehr ist als eine bloße Fiktion, daß, wenn zwei Körper sich anziehen, in Wirklichkeit außer den beiden Körpern noch etwas anderes da ist: die Anziehungskraft, die etwa einen besonderen Zustand der sich anziehenden Körper, sozusagen ein Erlebnis derselben, darstellen könnte. Wer die Materie spiritualistisch deutet, d. h. ihr eine seelische Natur zuspricht, wird diese Auffassung naheliegend finden. Die Gleichstellung anziehender und abstoßender Kräfte mit Liebe und Haß geht auf die vorsokratische Philosophie zurück. — Wenn wir aber unabhängig von solchen Fragen das Gravitationsgesetz ohne Benutzung des Kraftbegriffes zu formulieren versuchen, so müßten wir etwa sagen: zwei getrennte Massen nähern sich immer (mit einer bestimmten Beschleunigung), wenn nicht andere Umstände, anderen Gesetzen entsprechend, dies verhindern. Als solche anderen Umstände kämen in unserem Falle in Betracht: andere Körper zwischen den Massen, andere Massen, die ihrerseits die ins Auge gefaßten Massen anziehen, elektrische und magnetische Kräfte, Strahlungen, die durch ihren Druck die Massen auseinandertreiben könnten, usw. Wenn wir alle diese Umstände kennen würden, kämen wir zu einer ausnahmslosen Regel. Aber wir haben streng genommen nie volle Gewißheit, daß wir alle Umstände kennen, die für das Eintreten eines Ereignisses von Bedeutung sind. Wir mögen also noch so vorsichtig sein in unserer Formulierung, noch so viele Umstände in Betracht ziehen, wir sind doch nie sicher, eine ausnahmslose Regel vor uns zu haben. Stoßen wir aber auf eine Ausnahme, wo wir eine solche nicht erwartet hatten, so bleibt immer die Möglich-

keit, daß erstere auf einen bisher nicht beachteten bedeutsamen Umstand zurückzuführen ist.

Diese Überlegungen sind im ganzen wenig geeignet, die Voraussetzung einer absoluten Gesetzmäßigkeit alles Wirklichen zu stützen. Wir können kurz sagen: wenn alles Wirkliche durchaus sich festen Gesetzen fügt, so kann trotzdem jede Regel, die *wir aufstellen*, Ausnahmen erleiden; wenn es aber keine ausnahmslosen Gesetze gäbe, obwohl das Weltgeschehen eine sehr weitgehende Regelmäßigkeit aufweist, so würden wir vielleicht trotzdem an absolute Gesetzmäßigkeit *glauben* und für die Ausnahmen, welche die von uns aufgestellten Regeln erleiden, irgend welche besonderen Umstände verantwortlich machen.

Erfahrung kann nie entscheiden, ob eine Regel mit absoluter Genauigkeit gilt.

Handelt es sich um quantitative Angaben, so kann die Erfahrung, die niemals absolute Genauigkeit ermöglicht, natürlich auch nie darüber entscheiden, ob die Regel absolut genau gilt, oder ob sie nur angenäherte bzw. Durchschnittswerte angibt. Das Newtonsche Gravitationsgesetz ($k = c\frac{m_1 m_2}{r^2}$) hat sich bisher gut bewährt und sich den Änderungsvorschlägen gegenüber, an denen es nicht gefehlt hat, in alter Form behauptet. Aber wir können es in so geringem Maße modifizieren, daß die Erfahrung über die Berechtigung der Modifikation gar nicht entscheiden kann (indem wir etwa statt r^2 setzen $r^{1,999\ldots 9}$ oder $r^{2,000\ldots 1}$). Solche Änderungen sind in verschiedenem Sinne möglich, und wenn jemand behaupten würde, heute entspreche die in der einen, morgen die in der anderen Weise geänderte Formel dem wirklichen Geschehen, so könnte er durch Erfahrung nie widerlegt werden.

Wir kommen zu folgendem Resultate: die Erfahrung zeigt eine gewisse Regelmäßigkeit des vergangenen Geschehens und sie hat zahlreiche Annahmen bestätigt, die eine weitreichende Regelmäßigkeit voraussetzen; aber die bisherige Erfahrung und irgend welche Bestätigungen können niemals absolute Regelmäßigkeit, Gesetzmäßigkeit erweisen, auch nicht für irgendein der Erfahrung besonders gut zugängliches Gebiet des Wirklichen.

Die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung (im Gegensatz zur unbestimmteren Regelmäßigkeitsvoraussetzung) kann nicht schlechthin als eine Forderung des gesunden Menschenverstandes gelten. Sie findet keinen genügenden Anhalt in der bisherigen Erfahrung. Sie ist auch nicht lebensnotwendig in gleichem Sinne wie die unbestimmtere Regelmäßigkeitsvoraussetzung; denn wir können einigermaßen die Zukunft vorhersagen und für sie sorgen, wenn der Weltlauf sich zumeist und ziemlich genau, doch nicht mit absoluter Strenge, an feste Regeln hält.

Ist die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung erkenntnisnotwendig?

Von großer Bedeutung ist nun die Frage nach der Erkenntnisnotwendigkeit der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung. Nehmen wir nur an, das Wirkliche füge sich im großen und ganzen Regeln, so können wir mit solchen Regeln das Wirkliche (soweit es nicht durch direktes Erleben und Erinnerung bekannt ist) auch nur im großen und ganzen bestimmen. Wir haben gesehen, welche Bedeutung die Regelmäßigkeitsvoraussetzung für die Kausal-, die Induktions- und Analogieschlüsse hat, wie sie zur Bestimmung des nicht-erlebten bzw. -erinnerten Wirklichen dient. Jede Unbestimmtheit in der Voraussetzung kommt aber

dabei zur Geltung; sie belastet die genannten Schlüsse mit einer weiteren Unsicherheit. Freilich sind die Induktions- und Analogieschlüsse auch dann niemals völlig sicher, wenn absolute Gesetzmäßigkeit des Weltgeschehens vorausgesetzt werden darf, weil sie sich auf spezielle Regeln stützen müssen, deren Ausnahmslosigkeit trotzdem unsicher bleibt. —

Bietet so die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung dem Erkennen eine der unbestimmteren Regelmäßigkeitsvoraussetzung überlegene Handhabe, so gilt dies insbesondere auch im Hinblick auf das Erklären und Verstehen des Wirklichen. Wir können auf das bereits Gesagte zurückverweisen. Wenn die Welt in allen Einzelheiten im Prinzip erklärbar sein soll, dann muß sie sich auch bis in alle Einzelheiten festen Regeln fügen. Was in irgendeiner Hinsicht eine Ausnahme darstellt, ist als solche unerklärlich, bis diese selbst von einer Regel gefordert erscheint. Die Gesetzmäßigkeit alles Wirklichen ist Voraussetzung voller Erklärbarkeit der Welt. Nun ist es gewiß nicht selbstverständlich, daß alles in der Welt im Prinzip durchaus erklärbar sein müsse. Unser Erkennen und unsere Wissenschaft brechen nicht zusammen, wenn es in der Welt hier und da etwas gibt, das nie ganz erklärt werden kann. Sie bleiben durchaus möglich, wenn sich auch nicht Alles und Jedes absolut gesetzmäßig verhält. Wenn nur die Regellosigkeit nicht überhandnimmt, behalten unsere Realwissenschaften ihren guten Sinn. Wenn z. B. das Newtonsche Gesetz in der Tat nicht absolut strenge Geltung hätte, sondern nur eine ungemein angenäherte Durchschnittsregel darstellen würde, von der die Wirklichkeit bald in dieser, bald in jener Richtung regellos unmeßbar kleine Abweichungen aufwiese, so würde das seinen Wert nicht beeinträchtigen. In der Tat erklären ja die Physiker manche Gesetze (z. B. auf Grund der kinetischen Gastheorie) als bloße Durchschnittsergebnisse. Auch Newtons Gravitationsgesetz würde ohne weiteres ein solches Durchschnittsergebnis darstellen, wenn die Hypothese anzuerkennen wäre, daß die Massenanziehung auf dem Stoß kleiner Teilchen beruht, welche die Körper gegeneinander treiben, weil sie deren einander zugewandte Seiten weniger treffen, da der eine Körper den andern gegen die aus allen Richtungen kommenden stoßenden Teilchen schirmt. Es ist durchaus denkbar, daß alles das, was unter der anspruchsvolleren Bezeichnung Naturgesetz uns entgegentritt, nichts anderes ist als eine mehr oder weniger genaue und zuverlässige Durchschnittsregel; und mit der Erfahrung würde sich diese Annahme durchaus vertragen.

Man kann also nicht eigentlich sagen, daß die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung notwendig sei für unsere Wirklichkeitserkenntnis und unsere Realwissenschaften; mit einer hinreichend genauen und zuverlässigen Durchschnittsregelmäßigkeit kommen wir auch in den exakten Naturwissenschaften ganz gut aus. Sie würde auch eine Befriedigung unseres Erklärungsbedürfnisses ermöglichen, soweit nicht andere, speziellere Schwierigkeiten im Wege stehen.

Positives zur Rechtfertigung der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung.

Immerhin kann man die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung durch ihre Bedeutung für unser Erklären und Verstehen noch am ehesten rechtfertigen. Wenn die Realwissenschaften alle Gebiete der Wirklichkeit unserem Verständnis zugänglich zu machen versuchen wollen, müssen sie überall, wo ihre Arbeit

einsetzt, zunächst einmal mit der Möglichkeit von Erklärung und Verständnis rechnen; wir werden also zunächst einmal voraussetzen, daß überall in der Wirklichkeit, in allen Einzelheiten, die uns begegnen, Regelmäßigkeit herrscht. Jede Grenze der Regelmäßigkeit wäre eine Grenze für unser Verstehen — allerdings vielleicht nicht für das Erklären und Verstehen, soweit es bis jetzt vorgedrungen ist oder in absehbarer Zeit vordringen wird; doch wer kann sagen, wie weit die Wissenschaft einmal vorzudringen imstande sein mag!

Der natürliche Menschenverstand sieht in der Ausnahme schlechthin etwas zu Erklärendes, neuen Regeln Einzuordnendes; er erhebt die Forderung des Verstehens, ohne ihr Grenzen zu setzen, und die Forderung setzt überall Regelmäßigkeit voraus. Insofern liegt im gesunden Menschenverstand wenigstens eine Tendenz zum Glauben an eine absolute Regelmäßigkeit. Eine solche Tendenz liegt auch darin, daß der natürliche Menschenverstand überall, auch im Fernliegenden und Einzelnen zu Induktions- und Analogieschlüssen bereit ist; diese Tendenz fordert als logische Grundlage überall, also auch in allem Einzelnen, Regelmäßigkeit des Wirklichen. Eine Regelmäßigkeit aber, die sich in jeder Hinsicht auf alles Einzelne, auf alle Seiten des Wirklichen erstreckt, ist *absolute* Regelmäßigkeit oder Gesetzmäßigkeit.

Insofern ist eine Tendenz des gesunden Menschenverstandes zur Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung durchaus anzuerkennen; sie tritt darin zutage, daß diese Voraussetzung für viele Menschen, insbesondere für Naturforscher, zu etwas fast Selbstverständlichem geworden ist. Andererseits aber dürfen wir nicht vergessen, daß dem gesunden Menschenverstand in anderer Beziehung eine solche Voraussetzung ziemlich fern liegt, die zunächst wenig zu den Zufälligkeiten des Weltlaufes und zu den Launen der menschlichen Willkür zu passen scheint.

Bei dieser Sachlage mag man es durchaus berechtigt finden, daß die Realwissenschaften mit der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung arbeiten; in der Praxis der Forschung würde sich ja nichts zu ändern brauchen, wenn die vermeintlichen Gesetze nur Durchschnittsregeln von hinreichender Genauigkeit und Zuverlässigkeit wären. Immerhin mag man im Auge behalten, daß die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung keineswegs schlechthin unentbehrlich für unsere Realwissenschaften ist, und daß es um ihre Rechtfertigung nicht gut bestellt ist; von einem Beweise aber kann gar nicht die Rede sein.

Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung und (gemäßigte) Konventionslehre. Unsere Betrachtungen über die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung bieten Anlaß, noch einmal auf konventionalistische Gedanken zurückzukommen. Wir kamen zu dem Ergebnis, daß die Gesetzmäßigkeitsannahme bei der realwissenschaftlichen Forschungsarbeit zugrunde gelegt werden kann, obwohl es um ihre Rechtfertigung schwach bestellt ist. Insofern erscheint sie als eine wissenschaftliche Konvention, die zwar durch Tatsachen und Interessen der Forschung uns aufgedrängt wird, aber doch nicht ganz frei von Willkür ist.

Ist die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung eine Konvention, die allerdings durch Tatsachen und Interessen der Forschung aufgedrängt wird?

Wir konnten die Regelmäßigkeitsvoraussetzung nicht als bloße Konvention auffassen — müßten wir doch sonst aufs Prophezeien verzichten, ohne welches wir indes nicht leben können.

Bei der Präzisierung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung zur Gesetzmäßigkeitsannahme aber liegen die Dinge wesentlich anders. Mit der Voraussetzung einer Regelmäßigkeit von recht weitgehender, doch keineswegs absoluter Genauigkeit und Zuverlässigkeit könnten wir im Leben und auch in der Wissenschaft auskommen. Diese Voraussetzung paßt zu unseren Erfahrungen, zu den Bestätigungen unserer Vorhersagen, und sie macht Prophezeiungen möglich, die allerdings nur wahrscheinlich und nicht absolut genau sein können; aber mehr als Wahrscheinlichkeit — die freilich praktisch der Gewißheit gleichkommen kann — und eine zwar unter Umständen staunenswerte, aber doch keineswegs absolute Genauigkeit kommt unseren Vorhersagen in der Tat nicht zu, auch dann nicht, wenn Gesetzmäßigkeit im Weltganzen herrscht.

Wenn wir wollten, könnten wir also die Gesetzmäßigkeitsannahme, wie sie Realwissenschaften zugrunde zu legen pflegen, ersetzen durch die Annahme einer hinreichend genauen und zuverlässigen Regelmäßigkeit. Im Forschungsbetriebe brauchte dadurch nichts geändert zu werden. Freilich könnten wir dann bei einer Erscheinung, die nicht in unsere Regeln passen will, auf den Gedanken kommen, daß sie sich überhaupt nicht bzw. nicht genau nach Regeln richte; wir könnten aber auch — gerade wie vom Standpunkt der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung aus — daran denken, daß bei Berücksichtigung irgend welcher noch unbekannter Umstände auch hier die Ausnahme bzw. Ungenauigkeit verschwinden möge. Die Befürchtung mag psychologisch sehr begründet sein, daß man mit der bequemen Berufung auf Ausnahme und Ungenauigkeit allzu leicht bei der Hand sein werde, daß man sie aus nicht-wissenschaftlichen Interessen mißbrauchen werde. Sachlich notwendig wäre dies nicht; korrekt wäre es, neben dieser Annahme immer auch die andere Möglichkeit im Auge zu behalten und dementsprechend nach Umständen zu suchen, deren Auffindung die scheinbare Ausnahme und Ungenauigkeit beseitigen würde.

Ein Gegner der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung könnte betonen, daß das Gegenstück zu diesem Bedenken nicht fehlt, wenn man die Gesetzmäßigkeitsannahme aufnimmt; da wird man vielleicht echte Ausnahmen und Ungenauigkeiten, die sich die Wirklichkeit gegenüber unseren Regeln erlauben könnte, beseitigen, wenn man der Annahme zuliebe unbekannte Umstände vermutet, welche gar nicht existieren. — Ein Elektromotor leistet nicht genau das, was er nach unseren Rechnungen leisten müßte, und seine Leistung schwankt bei gleichem Stromverbrauch ein wenig. Wir sind sofort bei der Hand, dies durch mancherlei besondere Umstände zu erklären, durch nicht ganz konstant bleibende Reibungsverhältnisse usw.; wir mögen recht haben, jedoch niemand weiß schließlich, ob wir völlig recht haben, ob nicht minimale und wechselnde Ungenauigkeiten den „Naturgesetzen" anhaften, die unserer Berechnung zugrunde liegen.

Wenn von diesem Augenblicke ab das Weltgeschehen weiterhin sehr regelmäßig verliefe, ohne sich absolut genau und ausnahmslos an Regeln zu halten, so würden wir nicht leicht dazu kommen, solche Ungenauigkeiten und Ausnahmen als solche zu konstatieren; wir würden sie durch Annahme verborgener

Umstände fortinterpretieren. (So verfahren wir ja auch bei jedem mißlingenden Demonstrationsversuche, auch wenn es uns einmal nicht gelingt, die verborgenen Umstände, denen wir die Störung zur Last legen, ans Licht zu ziehen.) — Freilich, wenn die Ausnahmen gar zu häufig, die Ungenauigkeiten zu augenfällig würden, so möchten wir uns wohl entschließen, sie anzuerkennen und an die Stelle der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung die Annahme einer eingeschränkten Regelmäßigkeit des Weltlaufes zu setzen, wie sie dem vorwissenschaftlichen Denken entspricht. Nicht leicht würden sich allerdings die Naturforscher dazu entschließen; würde damit doch zugleich unser Einblick in die Zukunft und unser Einfluß auf dieselbe unsicherer werden. — Wenn endlich Regel und Gesetz ganz aus der Welt verschwinden würden, so müßte dem chaotischen Wirklichen gegenüber unser Denken versagen, unsere Existenz würde unmöglich werden. Wir können die Regelmäßigkeitsvoraussetzung nicht entbehren, weil es sich dabei um Sein oder Nichtsein handelt. Für die Gesetzmäßigkeitsannahme gilt dies nicht; sie ist also nicht in gleichem Sinne notwendig.

Eine gemäßigte Konventionslehre ist nicht zu widerlegen.

Innerhalb gewisser Grenzen ist die Konventionslehre nicht zu widerlegen. Es bleibt die Möglichkeit, die Gesetzmäßigkeitsannahme als eine überaus wertvolle Festsetzung anzusehen, die sich empfiehlt, weil sie bei großer Einfachheit und Strenge der Wirklichkeit praktisch hinreichend nahe kommt; es bleibt möglich, daß wir der Wirklichkeit dabei ein wenig Gewalt antun, mehr Regelmäßigkeit in sie tragen, als sie enthält; daß in der Wirklichkeit Durchschnittsregeln gelten, wo in unserem Weltbild von strengen Gesetzen die Rede ist.

Zur Beurteilung des Wahrheitswertes der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung mag man sich vergegenwärtigen, daß absolute Weltgesetzmäßigkeit einen Grenzfall im Sinne der Mathematik darstellt, dem unendlich viele Möglichkeiten weitgehender Regelmäßigkeit zur Seite stehen. —

Die vorhergehenden Darlegungen wollen die Möglichkeit einer gemäßigten Konventionslehre zugestehen. Sie wollen nicht etwa dazu auffordern, bei der wissenschaftlichen Arbeit hier oder dort die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung fallen zu lassen. —

DINGBEGRIFF UND SUBSTANZBEGRIFF.

Regeln der Koexistenz, des Beharrens und der Veränderung. Die Gesamtwirklichkeit ist etwas Zusammengesetztes mit gleichzeitigen und aufeinanderfolgenden Bestandteilen. Die Regeln bzw. Gesetze, welche das Wirkliche beherrschen, können vom Gleichzeitigsein und von der Aufeinanderfolge der Wirklichkeitsbestandteile sprechen. Die beschreibenden Naturwissenschaften haben überaus zahlreiche ,,Koexistenz"-Regeln festgelegt. So weiß der Mineraloge, daß ein Körper, der weiße Farbe, metallischen Glanz, das spezifische Gewicht 10,47 hat, zugleich nur mäßig hart ist, Elektrizität und Wärme vorzüglich leitet usw.; er nennt diesen Körper, der so eine Anzahl gleichzeitiger Eigenschaften regelmäßig vereinigt, Silber. Die Narzisse hat ihre besondere, charakteristische Blüte; aber zugleich finden wir bei ihr ein Blatt von bestimmter Form und Nervatur; wir können auf Grund von Koexistenzregeln von der Blüte oder Frucht aufs Blatt schließen. Ebenso bietet jede Tierart Beispiele für Koexistenzregeln. Alle Naturwissenschaften stellen Sukzessionsregeln und -gesetze auf. Der Keplersche Flächensatz für die Planetenbewegung, die chemischen Gleichungen für Umsetzungsprozesse, die Gesetze der Embryologie gehören hierher; aber auch wenn wir Gold ein edles Metall nennen und damit zum Ausdruck bringen, daß es an der Luft unverändert bleibt, nicht oxydiert, so stellen wir eine Regelmäßigkeit der Sukzession fest. Denn auch im Beharren liegt eine Regelmäßigkeit der Sukzession vor, und zwar die denkbar einfachste. Neben den Regeln des Beharrens stehen die der Veränderung.

Es gibt also Regeln und Gesetze der Koexistenz, des Beharrens und der Veränderung. Die Gesetzmäßigkeit der Veränderung führt uns auf den Kausalbegriff, dem wir uns weiter unten zuwenden werden. Beharren und Koexistenzregelmäßigkeit sind offenbar für den Dingbegriff und den aus diesem hervorgehenden Substanzbegriff von Bedeutung. Die Dinge und Substanzen haben Eigenschaften, die zum Teil gesetzmäßig koexistieren — man denke an die charakteristischen Eigenschaften des Silbers —. Dinge und Substanzen beharren, sei es für immer, sei es für eine kürzere oder längere Zeit.

Beharren, Koexistenzregelmäßigkeit und Dingbegriff.

Der Ding-Begriff. Der Ding-Begriff ist ein an der Hand der Erfahrung gebildetes Produkt des vorwissenschaftlichen Denkens. Das Ding ist etwas Wirkliches; aber nicht alles, was wir wirklich nennen, ist ein Ding, z. B. nicht die wirkliche Bewegung. Das Ding muß eine gewisse Selbständigkeit haben, so daß es ,,für sich" oder ,,an sich" existieren kann. Darum sind Bewegung, Gestalt, Größe keine Dinge; denn sie existieren nur an einem anderen, das ihnen

Das Ding als selbständiger und beharrender Träger der Eigenschaften.

gleichsam einen Halt gibt, an einem Ding; das Ding selbst aber braucht nicht notwendig ein anderes, das ihm Halt geben müßte, sondern kann für sich selbst existieren. Die Eigenschaften existieren an dem sie „habenden“ Dinge, und dies Eigenschaften tragende Ding hat eine gewisse Dauer, so daß es fortbestehen bleibt, während seine Eigenschaften zum Teil wechseln können; zum Teil ist das Zusammensein von Eigenschaften von erkennbaren Regeln beherrscht. Weil es manchmal schwer zu sagen ist, ob ein Etwas selbständig für sich existieren kann, und weil zwischen Vergänglichem, Vorübergehendem, und Dauerndem, Beharrendem, keine scharfe Grenze zu ziehen ist, weiß man zuweilen nicht, ob ein Wirkliches die Bezeichnung Ding verdient; so z. B. bei der Flamme, die wohl Eigenschaften hat, aber selbst sozusagen ihren Halt im brennenden Körper, dem eigentlichen „Ding“, findet, als dessen vorübergehende Eigenschaft sie insofern erscheinen kann. — Bei den körperlichen Dingen ist der Zusammenhang der Eigenschaften ein raum-zeitlicher. Eine Eigenschaft, die, sei es durch den Raum, sei es durch die Zeit, von einem Ding ganz getrennt ist, kann in diesem nicht ihren Halt finden. — Auch rein körperliche Dinge werden auf primitiver Entwicklungsstufe nach Analogie des Menschen gedacht; sie sind gleichsam handelnde und leidende Persönlichkeiten.

Verhältnis des Substanzbegriffes zum Dingbegriff.

Der Substanzbegriff. Der philosophische und wissenschaftliche Substanzbegriff entsteht aus dem Dingbegriff, indem dessen Hauptmerkmale scharf gefaßt und vielfach aus dem Relativen ins Absolute übersetzt werden. So wird die Substanz zum absolut Selbständigen, Unabhängigen, Unerschaffenen, Ewigen, Unveränderlichen usw. Bei Spinoza ist diese Übersetzung ins Absolute mit äußerstem Radikalismus durchgeführt. Es gibt aber verschiedene Stufen auf diesem Wege, und die philosophische Umbildung des an sich schon schwankenden Dingbegriffes erlaubt zahlreiche Variationen. Wie bei so vielen philosophischen Fachausdrücken, die durch eine lange historische Entwicklung — man möchte sagen: belastet sind, so liegt die Sache auch in diesem Falle: es gibt eine ganze Anzahl von Substanzbegriffen.

Es ist fraglich, ob es absolut unveränderliche Wirklichkeitsbestandteile gibt.

Wenn wir dem Worte Substanz einen brauchbaren Sinn geben wollen, so müssen dabei sowohl die Erfahrungstatsachen berücksichtigt werden, auf die der Begriff Anwendung finden soll, als auch die unerläßlichen Forderungen unseres Denkens; endlich muß aber auch, soweit dies angeht, der Sprachgebrauch in Betracht gezogen werden. Letzterer fordert, daß die Substanz etwas Wirkliches sein muß. Was nun das Merkmal der zeitlichen Beständigkeit angeht, so müssen bei der genaueren Bestimmung desselben in der Wissenschaft die wirklichen Erfahrungstatsachen den Ausschlag geben; denn es ist keine unerläßliche Forderung unseres Denkens und Erkennens, daß es absolut ewige bzw. unveränderliche Wirklichkeiten in unserer Erfahrungswelt geben müsse, und auf diese Welt soll der Substanzbegriff doch womöglich anwendbar sein. Wohl aber zeigt die Erfahrung, daß es manche Wirklichkeitsbestandteile gibt, die andere überdauern, und unser Denken macht, indem es sich von der Erfahrung leiten läßt, die Annahme, daß viele Wirklichkeitsbestandteile — z. B. Berge — weit beständiger sind als unsere Wahrnehmungen derselben. Der unserem Geiste

eigenen Neigung zum Absoluten, Radikalen und Einfachen entspricht es, daß man in der philosophischen und wissenschaftlichen Reflexion immer wieder nach unvergänglichen (auch wohl unveränderlichen) Wirklichkeitsbestandteilen gesucht hat; man glaubte solche z. B. in den letzten Bestandteilen der Materie, etwa in Atomen, aber auch in ewig existierenden Geistern zu finden. Indessen ist es weder denk- noch erkenntnisnotwendig, daß solche Wirklichkeitsbestandteile, etwa die letzten Weltelemente, ewig bzw. unveränderlich sein *müssen*; wenn Entstehen und Veränderung — wie es die Psychologie etwa bezüglich der Gefühle annimmt — von Gesetzen beherrscht und bestimmt werden, so könnte sich unser Erkennen mit ihnen abfinden, auch wenn sie sich auf alle Wirklichkeitsbestandteile erstreckten. Wer in den bewußten Empfindungen die letzten Weltbestandteile sieht (Empfindungsmonismus), für den gibt es keine ewigen Bestandteile des Wirklichen. — Es wäre also zu fragen, ob Erfahrungstatsachen die Annahme ewiger bzw. unveränderlicher Wirklichkeitsbestandteile fordern oder doch nahelegen; denn von einer unbedingten Forderung kann nicht wohl die Rede sein, da uns die Erfahrung in ihrer Begrenztheit nichts als ewig erweisen kann. Immerhin hat man vielfach, insbesondere auch in Naturphilosophie und Naturforschung gemeint, die Erfahrung weise auf ewige Wirklichkeitselemente hin; in der Materie, in den Atomen glaubte man dergleichen gefunden zu haben. Doch heute gelten Atome und Materie (im gewöhnlichen Wortsinn) vielen als etwas dem Zerfall in Elektrizitätsteilchen, Elektronen, Ausgesetztes; wer weiß, ob diese Elektronen nicht auch einmal als entstanden und vergänglich erscheinen werden!

Wir wissen also nicht, ob es schlechthin Ewiges bzw. Unveränderliches in der Natur gibt; wohl aber finden wir vieles, das lange beharrt. Es steht also, scheint es, nichts im Wege, dem Substanzbegriff das Merkmal des Beharrens zu erteilen.

Wenn indessen dies Beharren Vergehen und Veränderung nicht schlechtweg ausschließt, so kommt dem Merkmal keine allzu große Bedeutung mehr zu. Was uns als Typus eines Vergänglichen erscheint, mag für die Eintagsfliege schon ein Beharrendes sein. In der Tat sehen wir, daß die Wissenschaft auf unser Merkmal wenig Gewicht legt. So trägt der Chemiker kein Bedenken, von „unbeständigen Substanzen" zu sprechen, die alsbald wieder vergehen, z. B. sich zersetzen, nachdem sie entstanden sind. Die Untersuchung radioaktiver Substanzen hat zur Annahme unbeständiger Atome geführt. Allerdings mag man, indem man hier von Unbeständigkeit und Zerfall der Substanz spricht, dabei den Hintergedanken festhalten, daß keine Vernichtung vorliege, daß die letzten Bausteine erhalten bleiben. —

Selbständigkeit als Merkmal der Substanz.

Das Ding erschien ferner als das Selbständige gegenüber seinen Eigenschaften, die es „trägt", denen es Halt verleiht; es bleibt zu fragen, ob diese metaphorische Bestimmung eine wissenschaftlich berechtigte und brauchbare Präzisierung zuläßt. Die philosophischen Kritiker des Substanzbegriffes haben darauf hingewiesen, daß die Eigenschaften nicht von der Substanz getragen werden, wie eine Bildsäule vom Sockel. Da trägt ein Ding das andere, und ebenso

gibt ein Ding dem andern Halt, wenn ein Pfahl einen schwachen Obstbaum stützt. Indessen zeigt direkteste Erfahrung, wie ein Unselbständiges von einem im Vergleiche zu ihm Selbständigeren „getragen" werden kann, wie ersteres an oder in letzterem existieren kann, während uns seine Existenz ohne solchen Rückhalt unvorstellbar erscheint. So „hat" der Ton eine gewisse Höhe, Klangfarbe, Intensität. Eine Tonhöhe oder Klangfarbe existiert nur an einem Ton, wird von ihm gleichsam getragen und gehalten. So existieren auch Größe, Gestalt, Bewegung, Veränderung nur an einem Etwas, das ihnen gegenüber als das Selbständigere, Haltende, Tragende erscheint. Dies Haltende braucht nicht notwendig als ein Unbekanntes (ein „*I know not what*", wie Locke sagte) gedacht zu werden, das als etwas Besonderes, Neues, gleichsam „hinter" den Eigenschaften stände. Die Tonempfindung steht nicht als ein weiteres, unbekanntes Etwas „hinter" ihren Eigenschaften der Tonhöhe und Intensität; sie vereinigt diese Eigenschaften in ihrer eigentümlichen Weise in sich. Ähnlich mag es auch bei anderen Wirklichkeitsbestandteilen sein, die mehr oder weniger unselbständige Eigenschaften an oder in sich tragen oder halten.

Ohne Zweifel gibt es also in der Wirklichkeit solche Verhältnisse eines Unselbständigeren zu einem Selbständigeren, welches ersteres an oder in sich hat, trägt und hält; dabei können wir uns oft gar nicht vorstellen, wie das „Getragene" anders als am Tragenden existieren könne. Eine Farbe, die nicht ausgedehnt wäre, ist für uns schlechthin unvorstellbar (womit nicht gesagt ist, daß sie überhaupt absolut unmöglich sein müsse; sind doch die Töne ursprünglich unräumliche Empfindungen); darum erscheint uns die bloße Farbe ohne räumliche Bestimmung als etwas durchaus Unselbständiges, Nichtsubstantielles.

Nun sind wir gewöhnt, die Tonempfindung, die gegenüber der Tonhöhe als das Selbständige erscheint, oder die Farbempfindung mitsamt ihren räumlichen Bestimmtheiten, die diesen sowie dem Farbton selbst als „Träger" dient, trotzdem nicht als Substanzen zu betrachten. Solche Gewohnheit mag zum Teil darauf beruhen, daß wir doch ein gewisses Gewicht auf das Merkmal der Beharrlichkeit legen; die Empfindungen erscheinen uns doch als etwas allzu Vergängliches, als daß wir sie Substanzen nennen möchten. Andererseits aber kommt vor allen Dingen hinzu, daß wir weniger ihre relative Selbständigkeit gegenüber ihren Eigenschaften als ihr eigenes Getragen- oder Gehaltenwerden im Auge haben. Die Tonempfindung gilt uns als etwas gar zu Unselbständiges; sie wird selbst getragen von der Seelensubstanz oder — wenn diese abgelehnt wird — vom Bewußtseinsstrome. Allerdings liegt etwas Willkürliches in solcher Anwendung bzw. Nichtanwendung des Substanzbegriffes. Man kann sich ganz gut eine Tonempfindung vorstellen, die dauernd und isoliert in der Welt existierte, sozusagen einen Bewußtseinsstrom für sich repräsentierte. Es wäre kein Grund vorhanden, ihr die Substanzialität abzusprechen. Prinzipiell erscheint eine Tonempfindung nicht unselbständiger als ein Dachziegel, der doch auch von anderen Ziegeln und Sparren, schließlich vom Hause und seinen Fundamenten getragen wird, wie die Empfindung vom Bewußtseinsganzen und den seelischen Wirklichkeiten, die als unbewußter Unterbau der Bewußtseinseinheit gefordert

werden; niemand nimmt dem Ziegel seinen Substanzcharakter, weil er im Dache hängt. Allerdings kommt — neben der Eigenart des seelischen Zusammenhanges — in Betracht, daß wir die Tonempfindung nur im „tragenden" Seelenganzen kennen. Aber schließlich kennen wir alle Wirklichkeitsbestandteile nur in einem „tragenden" Wirklichkeitszusammenhange, dem gegenüber sie als etwas mehr oder weniger Unselbständiges, Gehaltenes, Getragenes erscheinen; das gilt von jedem Körper wie von jeder Seele. Soll nur das schlechthin Selbständige und Haltende Substanz heißen, so dürfen wir mit Spinoza nur die Gesamtwirklichkeit oder mit der von Descartes angedeuteten, wenngleich vernachlässigten Konsequenz nur Gott als Substanz bezeichnen, womit dann der Begriff für die Erfassung der Welt der Einzeldinge verloren geht.

In der Erfahrung gibt es nur Relativ-Selbständiges.

Wir kommen zu dem Ergebnis, daß die radikale Fassung des Substanzbegriffes ihm die Anwendbarkeit auf die endlichen und unselbständigen Dinge raubt, welche die Erfahrung uns bietet, daß die weniger radikale Fassung aber Wirklichkeiten zu Substanzen macht, die man nicht als solche bezeichnen will. — Wenn man nur Relativ-Beharrendes und Relativ-Selbständiges kennt und Substanz nennt, dann verschwimmt im Grunde die Differenz zwischen der substanzialistischen und der den Substanzbegriff ablehnenden Wirklichkeitsauffassung, die man als aktualistisch bezeichnen kann; auch die aktualistische Lehre, die auf die (von Regel und Gesetz beherrschte) Veränderung, den Wechsel, das Werden, die Entwicklung, die Tätigkeit allen Nachdruck legt — man denke an Heraklit —, braucht relatives Beharren und relative Substanzialität nicht zu leugnen. Die Naturanschauung der Gegenwart legt mehr Gewicht auf die Unverbrüchlichkeit der Gesetze als auf die schlechthinnige Ewigkeit des Seins, obwohl vielen — keineswegs allen — Naturforschern die elementaren Substanzen als ewig gelten. Die gegenwärtige Psychologie steht dem Substanzbegriff noch kritischer gegenüber, wenngleich die Annahme einer seelischen Substanz im Sinne der weniger radikalen Bestimmung des Begriffes in jüngster Zeit in sehr beachtenswerter Weise verteidigt wird. Auch hier kann solche Verteidigung übrigens zugleich der Aktualitätshypothese, der die Seelensubstanz bekämpfenden Auffassung, mehr oder weniger entgegenkommen; letztere pflegt ihre Kritik in der Hauptsache an den radikalen Formen der Seelensubstanzlehre zu üben.

Anwendbarkeit des (relativ gefaßten) Substanzbegriffes.

Unser (relativ gefaßter) Substanzbegriff steht dem Dingbegriff sehr nahe und teilt darum dessen Unsicherheit in der Anwendung. Wie aber der Dingbegriff durch solche Unsicherheit keineswegs völlig entwertet wird, so mag auch unser Substanzbegriff seinen Wert bei der wissenschaftlichen Bearbeitung der Erfahrung behalten. Wo relativ dauernd Eigenschaften „getragen" werden, indem sie etwa in von Koexistenzregeln beherrschter Vereinigung auftreten, die als das den einzelnen Eigenschaften gegenüber relativ selbständig Wirkliche erscheint, da wird man die Anwendung der Bezeichnung Substanz erwägen. Innere Verwandtschaft der Tatsachen mag uns veranlassen, auch „unbeständige" Substanzen (z. B. in der Chemie) gelten zu lassen, weil sie offenbar wesentlich gleichartig sind mit den beständigen Substanzen desselben Erfahrungsgebietes (mit anderen chemischen Substanzen z. B.). Ob die Substanz aufgeht in der

Vereinigung bekannter unselbständiger Eigenschaften zu einer selbständigeren Wirklichkeit, oder ob in dieser Vereinigung „hinter" bzw. zu dem Verbande der Eigenschaften noch ein unbekannter, zu erschließender tragender „Kern" anzunehmen ist, ob dieser Kern einfach sein müsse oder selbst einen Verband von Eigenschaften darstellen könne, dergleichen Fragen können nur im Einzelfalle an Hand der Erfahrung erledigt werden. Der landläufige naturwissenschaftliche Substanzbegriff ruht auf der Annahme einer räumlichen Außenwelt und erhält seine besondere Bestimmung durch die Theorie unserer Außenweltserkenntnis. Wenn Eigenschaften wie die Farbe eines Körpers subjektiv sind, so muß die wirkliche „Körpersubstanz" ein Etwas sein, das „hinter" solchen Eigenschaften steht. Sie kann dabei selbst in einer von Regeln beherrschten Vereinigung anderer wirklicher, relativ unselbständiger Bestimmungen (Eigenschaften, Kräfte) bestehen.

Der Substanzbegriff kann zur Fixierung von Beharrungs- und Koexistenzregelmäßigkeiten dienen; jedoch gibt uns nicht jedes Beharren, nicht jede Regelmäßigkeit der Koexistenz Anlaß zur Anwendung des Substanzbegriffes. Zwei Tatsachen können regelmäßig koexistieren, weil sie Wirkungen derselben Ursache sind; sie brauchen dabei nicht auf dieselbe Substanz beziehbar zu sein, können z. B. räumlich getrennt erscheinen. Zwei Thermometer in demselben Raume steigen und fallen gleichzeitig; zwei Magnetnadeln lenken einander gleichzeitig ab. Auch wenn die gesetzmäßig zusammenhängenden Thermometerstände oder Magnetnadelablenkungen beharren, fassen wir sie nicht als Bestimmungen desselben Dinges zusammen. Die räumlichen Verhältnisse, die bei der Anwendung des Begriffes des körperlichen Dinges von entscheidender Bedeutung sind, stehen dem im Wege. Räumliche Verbindung ist Voraussetzung dafür, daß wir mehrere Eigenschaften oder Bestimmungen demselben Körper zuweisen, von ihm getragen werden, an ihm haften lassen. Der räumliche Zusammenhang mit oder an einer Körpersubstanz ist auch in erster Linie maßgebend, wenn wir ihr neben den dauernden Eigenschaften und Bestimmungen bzw. „an" oder „in" ihnen noch vorübergehende und wechselnde zuschreiben.

DER KAUSALBEGRIFF UND DIE EINSCHLÄGIGEN VORAUSSETZUNGEN.

Kausalität und gesetzmäßige unmittelbare Sukzession. Wie der Substanzbegriff mit dem Beharren und der Koexistenz von Wirklichkeitsbestimmungen zusammenhängt, so der Kausal-, der Ursach-Wirkungsbegriff mit der Veränderung, dem Entstehen und Vergehen. Wo eine Veränderung eintritt, fragen wir nach ihrer Ursache, und wir glauben, daß die gleiche Ursache immer wieder die gleiche Wirkung hervorbringt. So verursacht ein kräftiger Druck auf meine Haut immer wieder eine ihm folgende Druckempfindung.

Unmittelbarkeit der Sukzession von Ursache und Wirkung.

Dürfen wir ohne weiteres streng regelmäßige Bestimmung des Folgenden durch das Vorhergehende als Kausalität bezeichnen? Diese Frage erfordert sorgfältige Erwägung. Das Kausalprinzip sagt nicht nur, daß das Vorhergehende überhaupt das Folgende gesetzmäßig bestimmt; nach landläufiger Auffassung fordert es, daß das unmittelbar Vorhergehende das Folgende bestimme. Das Wort „unmittelbar" ist von großer Bedeutung; damit ist ein zeitlicher Abstand zwischen Ursache und Wirkung ausgeschlossen. Wenn ein Vorgang A einem anderen Z nicht unmittelbar vorausgeht, kann er nicht dessen eigentliche direkte Ursache sein; A kann nur indirekt Z hervorrufen, indem andere Vorgänge den Zusammenhang vermitteln und den Zeitabstand überbrücken. A ruft vielleicht B hervor, B bewirkt C usw., bis endlich diese Kette zu einem Y führt, das Z direkt bewirkt.

Diese Einschränkung ist nicht selbstverständlich; sie ist keine notwendige Konsequenz der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung. Diese würde nicht ausschließen, daß die durch Gesetze verbundenen Vorgänge einen bestimmten zeitlichen Abstand haben, oder daß neben dem unmittelbar Vorhergehenden das mittelbar Vorhergehende für das Folgende direkt mitbestimmend ist. Man müßte die bisherige Erfahrung befragen, wollte man die ausschließliche Bedeutung des unmittelbar Vorhergehenden rechtfertigen. Nimmt man aber das „unmittelbar" im strengen Sinne, so zeigt sich sofort, welche Schwierigkeit die Berufung auf die Erfahrung einschließt. Wir können nicht empirisch entscheiden, ob das der Wirkung um $^1/_{1000\,000\,000}$ Sekunde Vorhergehende diese nur indirekt bestimmt. Wenn wir aber berücksichtigen, daß für die Wirkung eines Körpers nicht nur sein Ort, sondern auch seine Geschwindigkeit (und Beschleunigung?) von Bedeutung ist, so erscheint die Beschränkung der Ursache auf das unmittelbar Vorhergehende in einem fatalen Lichte. Unmittelbar geht einem Zeitpunkt nur ein ausdehnungsloser Zeitpunkt voraus; betrachten wir aber einen Körper

nur in einem Zeitpunkte, nicht in seinem Verhalten in einer Zeitstrecke, so können wir von seiner Geschwindigkeit gar nichts wissen. Sofern wir also die Wirkung durch eine Bewegungsursache bestimmen, legen wir sie nicht nur durch das unmittelbar Vorhergehende fest.

Doch lassen wir dies Bedenken beiseite, indem wir das „unmittelbar" weniger streng fassen, so daß wir von einem unmittelbar vorhergehenden Vorgang sprechen dürfen! Auch dann noch ist die nicht-selbstverständliche Einschränkung auf das unmittelbar Vorhergehende, welche das Kausalgesetz nach landläufiger Auffassung fordert, keineswegs bedeutungslos. Sie ist z. B. von Wichtigkeit für die Frage nach der Möglichkeit räumlicher Fernwirkungen. Die neuere physikalische Forschung hat gezeigt, daß elektromagnetische Wirkungen Zeit gebrauchen, wenn sie über eine Entfernung hinweg ausgeübt werden; das drahtlose Telegramm kommt nicht in dem Augenblicke an, in welchem es von dem Absendeapparat abgeschickt wird, sondern ein wenig später. Wenn nun Ursache und Wirkung sich zeitlich unmittelbar aneinander anschließen müssen, so kann die Tätigkeit der Absendestation nicht die unmittelbare Ursache für die Funktion der Empfangsapparate sein; der Zusammenhang muß vermittelt sein, und da der Zeitabstand zwischen Absendung und Empfang mit der Entfernung der Stationen wächst, liegt es nahe, im Raume zwischen den Stationen die vermittelnden Vorgänge und ein diese tragendes Substrat — den Weltäther — anzunehmen, wozu ja noch andere Gründe Anlaß geben. Jedenfalls zeigt es sich, daß die Entscheidung der auch heute noch strittigen Ätherfrage mit unserer Fassung des Kausalgesetzes zusammenhängt, die ihrerseits keineswegs selbstverständlich erscheint. Ohne unsere Formulierung könnte man zunächst an Fernwirkungen denken, die nicht unmittelbar der Ursache folgen, sondern erst nach einem Zeitintervall auftreten, das mit der zu überspringenden Entfernung wächst.

Die Fernwirkungsfrage.

In der Forderung der unmittelbaren Sukzession von Ursache und Wirkung zeigt sich wieder die Tendenz unseres Denkens zum Radikalen, Extremen, Einfachen, Absoluten und Bestimmten. Würde man einen Zeitabstand zwischen Antezedens und Konsequens zulassen, so wäre dessen Größe erst noch zu bestimmen; darin läge eine Komplikation, die fortfällt für den Grenzfall unmittelbaren zeitlichen Zusammenhanges von Antezedens und Konsequens. Indessen würde diese Komplikation, wenn sie hinreichend bestimmt werden könnte, die Realwissenschaften nicht unmöglich machen.

Es ist schwer zu entscheiden, ob der „gesunde Menschenverstand" die Forderung stellt, daß die Veränderung durch das unmittelbar Vorhergehende bestimmt werden könne ohne Berücksichtigung des mittelbar Vorhergehenden, ob die in solcher Annahme sich äußernde Tendenz unseres Denkens zum Radikalen und Einfachen, auf die wir schon mehrfach gestoßen sind, durch das „Selbstvertrauen der menschlichen Vernunft", welches Fries mit Recht fordert, legitimiert erscheint. Bei derartigen Fragen sieht der gesunde Menschenverstand von einer entschiedenen Stellungnahme ab, und wir können bei verschiedener Beantwortung derselben das Vertrauen zu unserer Vernunft festhalten.

Immerhin mag man es mit der einfachen Annahme probieren, solange es angeht. Die wissenschaftliche Erfahrung scheint zu zeigen, daß man mit ihr durchkommt, falls man das „unmittelbar Vorhergehende" so weit faßt, daß es zeitliches Geschehen, Vorgänge, einschließen kann.

Nunmehr wäre zu fragen, ob Kausalität ohne weiteres mit stets regelmäßiger unmittelbarer Aufeinanderfolge gleichzusetzen ist, oder ob im Kausalbegriff anderes, ob vielleicht mehr in ihm enthalten ist. Bei dieser Frage stoßen wir auf eine entsprechende Schwierigkeit wie bei der Festlegung des Substanzbegriffes. Der Kausalbegriff ist ein an Hand der Erfahrung entstandenes Produkt des vorwissenschaftlichen Denkens, das in die Realwissenschaften aufgenommen und schon im Altertum einer vielfachen philosophischen Ausgestaltung unterzogen worden ist. Die philosophiegeschichtliche Entwicklung gibt uns eine ganze Anzahl verschiedener Begriffe, die alle den Anspruch erheben, die einzig korrekten wissenschaftlichen Fixierungen des vorwissenschaftlichen Kausalgedankens darzustellen. Es kommt noch hinzu, daß zuweilen der Kausalbegriff — wie auch der Substanzbegriff — nicht sowohl wissenschaftlich präzisiert, sondern als brauchbarer wissenschaftlicher Festlegung unfähig kritisiert und aufgegeben worden ist.

Es gibt verschiedene Kausalauffassungen.

Wir müssen uns darauf beschränken, einige wichtige, typische Beispiele von Auffassungen der Kausalität zu betrachten.

Das Wirken als Tätigkeit der Dinge. Für das vorwissenschaftliche Denken ist Kausalität sicherlich nicht mit stets regelmäßiger unmittelbarer Sukzession gleichzusetzen. Die Wirkung folgt nicht nur auf die Ursache; sie entsteht durch die Ursache, durch eine Tätigkeit, eine Handlung, ein Hervorbringen von seiten des wirkenden Dinges. Der Brand folgt nicht nur auf das Umstürzen des zündenden Lichtes, sondern das Licht tut etwas dabei; es zündet eben bei seinem Falle, wie der Mensch ein Feuer anzündet. Der Begriff der Tätigkeit entstammt der Betrachtung des handelnden Menschen. Wie wir handeln, etwas tun, hervorbringen, so auch die Dinge. Wie wir mit Anstrengung ein Gewicht bewegen, so zieht die Lokomotive mühsam den Güterzug. Wie wir uns plagen, ein Zentnergewicht ruhig hoch zu halten, so tut, so bewirkt die Säule auch etwas, die eine Last trägt; sie macht, daß die Last nicht fällt.

Die Auffassung des Wirkens als einer Tätigkeit ist ein Beispiel für die ursprüngliche Tendenz des menschlichen Denkens, alles nach Analogie des eigenen Ich, des handelnden Menschen zu begreifen. Die primitive Weltanschauung des Animismus, die in Baum und Strauch, in Wind und Wasser menschenähnliche, wohl- und übelwollende, handelnde Wesen sieht, zeigt diese Tendenz in ihrer naiven, ungebrochenen Wirksamkeit. Das fortschreitende Erkennen bringt aber immer mehr die Unterschiede zwischen dem handelnden Menschen und den Naturdingen zum Bewußtsein; so verliert die Analogie an Kraft, und die groben Formen des Animismus verschwinden. Doch bleibt jene Tendenz bestehen, nur äußert sie sich im vorwissenschaftlichen und wissenschaftlichen Denken weniger naiv; nicht nur in der vorsokratischen Philosophie, bei Empedokles, wo Liebe und Haß das Tun der Dinge veranlassen, sondern auch bei vielen

Animismus und Spiritualismus.

neuzeitlichen Denkern tritt sie sehr deutlich zutage, z. B. bei Schopenhauer, wo Wille oder Drang das innere Wesen der Welt und aller Dinge ausmacht. Man darf sagen, daß auch gegenwärtig diejenige metaphysische Auffassung, die das Wesen aller Dinge als seelisch-geistig ansieht, der Spiritualismus, noch großen Einfluß besitzt. Für den Spiritualismus liegt aber der Gedanke ganz nahe, daß das Wirken der Dinge dem Wirken der Menschen, der Tätigkeit, dem Handeln, analog zu deuten sei, daß es ein Tun darstelle. Im täglichen Leben jedoch übertragen wir, ohne an solche Metaphysik zu denken, unwillkürlich und ohne besondere Reflexion den Tätigkeitsbegriff vom Handeln des Menschen auf das Wirken überhaupt.

Der substanzialistische Kausalbegriff.

Diese Übertragung, dieses Hineinverlegen („Introjektion") der Tätigkeit in die Dinge hat für die Kausalauffassung bedeutsame Folgen. Dinge, nicht Vorgänge erscheinen als Ursachen und auch vielfach als Wirkungen. Der Mensch ist ja selbst etwas Selbständiges und Dauerndes, Substanzielles, und die Produkte seiner Tätigkeit, seines Handelns, z. B. ein Haus, eine Waffe, ein Werkzeug sind etwas Dinghaftes. So ist auch der Baum Ursache der Früchte, die er hervorbringt. Wird diese Auffassung wissenschaftlich-philosophisch festgelegt, so gelangt man zum substanzialistischen Kausalbegriff, insbesondere zum substanzialistischen Ursachbegriff: die Ursachen sind Substanzen, teils geistiger, teils körperlicher Art; nicht die Annäherung des Magneten, sondern der Magnet selbst ist Ursache der magnetischen Wirkungen.

Nach dieser Kausalauffassung ist es begreiflich, daß wir von einem Wirken auch da sprechen können, wo kein Vorgang sich ereignet. Freilich ist Tätigkeit zumeist ein Geschehen, eine Veränderung; aber sie muß es nicht sein. Es kann ein recht mühsames Tun bedeuten, wenn ich ein Gewicht dauernd ruhig hochhalte. So tut auch ein „Träger", ein Balken z. B. etwas, das eine Last hochhält; er „bewirkt", daß sie in ihrer Lage bleibt, daß sie nicht fällt.

Einwände.

Dieser Kausalbegriff wurzelt ohne Frage tief im menschlichen Denken, in seiner Anlage zu analogischer Auffassung, also in dem gleichen Boden, aus dem die Regelmäßigkeitsvoraussetzung überhaupt hervorwächst. Das wird bei der Beurteilung der vorliegenden Kausalauffassung zu berücksichtigen sein. Wir können das analogische Denken und Schließen und die Regelmäßigkeitsvoraussetzung, die ihnen logisch zugrunde liegt, keinesfalls prinzipiell verwerfen; also kann nur gefragt werden, ob das analogische Verfahren, auf dem der vorliegende Kausalbegriff fußt, nicht allzu kühn und phantastisch vorgehe. Die Erörterung dieser Frage aber führt tief in die Metaphysik hinein. Wir können hier nicht untersuchen, ob der Analogieschluß leidlich sicher und befriedigend fundiert ist, der alles Wirken als eine Tätigkeit faßt, ob speziell eine spiritualistische Metaphysik, die das Wesen der Dinge, auch der körperlichen, als seelisch-geistig betrachtet, begründet werden kann, ob sie eine leidlich wahrscheinliche Hypothese darstellt. Wir wollen hier solche metaphysischen Möglichkeiten durchaus nicht ablehnen, müssen aber fordern, daß der Kausalbegriff, der in den Einzelwissenschaften, z. B. in der Physik, Anwendung finden soll, von ihnen unabhängig sei.

Es mag also möglich sein, daß die Wirkung durch eine Tätigkeit der Dinge hervorgebracht wird. Doch ist diese Annahme ebensowenig von vornherein notwendig wie die spiritualistische Metaphysik. Was die Erfahrung uns zeigt, ist ein Geschehen, eine Aufeinanderfolge von Vorgängen, kein Tun, kein Handeln der Dinge. Die Annahme, daß eine Tätigkeit der Dinge vorliege, wäre logisch auf einen Analogieschluß zu stützen; die Gültigkeit desselben ist nicht denknotwendig, sondern sie bleibt fraglich. Wir werden also das Merkmal der Tätigkeit nicht in den Begriff der Kausalität aufnehmen. Man mag immerhin von der zerstörenden Tätigkeit des Meeres, von einer besonderen „Aktivität" naszierender chemischer Stoffe usw. reden; das mag lediglich eine bequeme Sprechweise sein, die keine metaphysischen Hypothesen voraussetzt, sondern nur das beobachtbare Geschehen metaphorisch ausdrückt. Wenn man will, kann man Wirken sogar mit Tätigsein gleichsetzen; nur wäre so der Begriff der Tätigkeit durch den Kausalbegriff bestimmt, nicht aber wäre umgekehrt durch diese Gleichsetzung gesagt, was unter Kausalität zu verstehen sei. Sollte die Identifizierung diese Bedeutung erlangen, so müßten wir aus anderer Quelle wissen, was Tätigkeit ist; wir müssen es aber ablehnen, daß ohne weiteres alles Wirkende in dem Sinne tätig genannt wird, den wir ursprünglich der Betrachtung menschlichen Tuns entlehnen.

Ist die Wirkung schon in der Ursache enthalten?

Wirken gleich Aus-sich-Hervorbringen. Der dargelegten Kausalauffassung steht eine andere in mancher Hinsicht nahe, die auch an eine spezielle Art von Wirkungen anknüpft. Ihr zufolge wäre alles Wirken buchstäblich als ein Hervorbringen, nicht nur durch, sondern auch aus der Ursache aufzufassen. Wie die Wolke den Regen, das Samenkorn die Pflanze, die Mutter das Kind aus sich hervorbringt, so soll jede Wirkung gleichsam aus der Ursache, die sie schon in sich barg, geboren werden.

Auch diese Auffassung ist ursprünglich substanzialistisch. Die Wirkung ist etwas Dingartiges, das durch eine Evolution oder durch eine Emanation, durch eine Entwicklung oder eine Ausstrahlung, durch ein Herausfließen aus der Ursache hervorgeht; zur Verdeutlichung kann man z. B. daran erinnern, wie das Radium seine Emanation aus sich hervorbringt. — Dieser Kausalbegriff spielte bei der Erklärung der Sinneswahrnehmungen eine große Rolle; die Dinge bewirken unsere Wahrnehmungen nach einer bereits vorsokratischen Hypothese, indem sie Teilchen ausstrahlen, Bilder von ihrer Oberfläche entsenden. Das theosophische Denken läßt wohl die Welt aus Gott durch Emanation, durch Ausstrahlung hervorgehen.

Diese mehr oder minder grob substanzialistische Form des Aus-sich-Hervorbringens kann jedoch nicht zur Verdeutlichung alles Wirkens verwandt werden. Wo die Wirkung nicht in einem Dinge besteht, das vorher in einem anderen steckte, versagt eine solche Auffassung. Das gilt also z. B. bei den Bewegungswirkungen; auf diese sollen aber nach der seit der Renaissance in den exakten Naturwissenschaften erstarkten mechanischen bzw. kinetischen Naturauffassung alle Wirkungen in der Körperwelt zurückgeführt werden. Indessen die Lehre, daß die Wirkung schon in der Ursache stecke, ist auch dann möglich, wenn

erstere keine Substanz, sondern eine Eigenschaft, einen Zustand usw. z. B. eine Bewegung darstellt. Wenn ein Körper durch einen anderen erwärmt wird, so geht einfach die Wärme aus dem letzteren auf den ersteren über; wenn eine Bewegungswirkung entsteht, indem etwa eine elastische Kugel eine andere stößt, so gibt die eine etwas von ihrer Bewegung an die andere ab. Immer aber steckt die Wirkung schon in der Ursache, aus der sie hervorgeht. Die energetischen Betrachtungen in der Naturwissenschaft der neuesten Zeit geben dieser Auffassung scheinbar eine weitere Stütze. Die Elektrizität bringt Wärmewirkungen hervor; da sagt uns nun die Physik, hierbei handele es sich nur um eine Umwandlung der bereits vorhandenen Energie in eine andere Form; die produzierte Wärmeenergie sei schon in der geopferten elektrischen Energie — nur eben in anderer Form — dagewesen.

Philosophische Lehren, die mit einer solchen Kausalauffassung zusammenhängen.

Alte Philosophenlehren hängen mit der dargelegten Kausalauffassung eng zusammen. Noch in neuerer und neuester Zeit ist der Versuch gemacht worden, das Kausalprinzip auf den alten Satz zurückzuführen, daß aus Nichts Nichts werden kann, daß es ein wirkliches Entstehen nicht gibt. (W. Hamilton, Heymans.) Wo etwas Neues zutage tritt, steckte es immer schon in der Ursache. Wenn wir daher die Ursache durch und durch kennen würden, könnten wir sagen, was sie hervorbringen kann, ohne erst die Erfahrung zu befragen. Das ist die bis auf Hume und Kant herrschende analytisch-rationalistische Kausalauffassung: aus der Analyse der Ursache, aus der Kenntnis derselben, sind die Wirkungen durch den bloßen Verstand, durch die *ratio*, ohne Zuhilfenahme der Erfahrung erkennbar und voraussagbar. Hume und Kant haben demgegenüber die Lehre aufgestellt, daß wir nur auf Grund der Erfahrung die Wirkungen der Ursachen erkennen und voraussagen können (synthetische Kausalauffassung). Wer niemals gesehen hätte, daß eine Billardkugel durch Stoß die andere in Bewegung versetzt, könnte selbst diese einfachste Wirkung nicht voraussehen, weil man sich andere Wirkungen gerade so gut ausdenken kann.

Andere mit der betrachteten Kausalauffassung zusammenhängende Lehren sind hier nur zu erwähnen, nicht aber zu besprechen. So der Satz, daß die Ursache mindestens ebensoviel „Realität“ und „Vollkommenheit“ enthalten müsse wie die Wirkung, die aus ihr hervorgeht, ein Satz, der zum Beweise des Daseins Gottes verwandt wurde (Descartes).

Auch der Begriff des „influxus“ kann hier angeführt werden. Ein solcher liegt vor, wo eine Eigenschaft, ein Zustand usw. von einem Ding auf ein anderes überfließt (wie z. B. die Wärme bei der Erwärmung). Übrigens ist der Wortsinn schwankend, zuweilen allgemeiner, manchmal auch spezieller; influxus bedeutet allgemein Einfluß eines Tätigen auf ein Leidendes, speziell Wirkung zwischen Leib und Seele.

Für die wissenschaftliche Entwicklung dieser Lehren war die Aristotelische Kausalauffassung von entscheidender Bedeutung. Aristoteles verdeutlicht das Wirken an der Tätigkeit des bildenden Künstlers. In ihm ist eine Idee des zu schaffenden Kunstwerkes lebendig. Diese wird gleichsam bei seiner Tätigkeit

auf den Stoff, z. B. den Marmor, übertragen. Wir haben eine Art Verschmelzung der beiden zuletzt betrachteten Kausalauffassungen in diesem Bilde vor uns, weil in der Tätigkeit des Künstlers gleichsam die Idee aus ihm hervortritt und auf den zu formenden Stoff übergeht. Doch brauchen wir darauf hier nicht einzugehen.

Kausalität und Identität. Hingegen bleibt eine andere Kausalauffassung zu betrachten, die mit der vorhin dargelegten eng zusammenhängt und bis in die Gegenwart bedeutende Vertreter gefunden hat. Wenn die Wirkung schon in der Ursache steckte und nur aus ihr hervorzutreten brauchte, so wäre die Wirkung mit der Ursache bzw. einem Teil, einer Eigenschaft, einem Zustand usw. derselben identisch. Beim Wirken entstände nichts Neues, sondern ein Altes träte hervor; es gäbe kein wirkliches Entstehen eines Neuen, auch nicht neuer Eigenschaften, Zustände u. dgl.; wo wir zunächst etwas derartiges, also eine Veränderung zu sehen glauben, müßte bei genauerem Nachforschen das Beharren ein- und desselben identischen Etwas sich herausstellen.

Identität von Ursache und Wirkung?

Wenn die Wirkung mit einem Teil, einem Zustand usw. der Ursache identisch wäre, so bestände selbstverständlich die analytische Kausalauffassung zu Recht. Wir dürften den in der Wirkung als identisch fortlebenden Teil, Zustand usw. als Ursache im eigentlichen Sinne bezeichnen; so erblicken wir z. B. in der auf eine gestoßene Kugel übertragenen Bewegung einer stoßenden Kugel die eigentliche Ursache der bewirkten Bewegung der gestoßenen Kugel; da wäre also die Wirkung mit der Ursache einfach identisch. Sind aber Ursache und Wirkung im Grunde identisch, dann mag man daran denken, das Kausalprinzip aus dem Identitätsprinzip abzuleiten. Das Kausalprinzip wäre als denknotwendig erwiesen, wenn man es aus dem Identitätsprinzip streng logisch deduzieren könnte. Denn mag man auch den Identitätssatz verschieden auffassen und formulieren — wir haben bereits die Erdmannsche Formulierung angeführt: Jeder Gegenstand (Denkgegenstand im weiten Sinne der Logik) ist mit sich selbst identisch —, der Satz soll jedenfalls denknotwendig evident sein. Bei der prinzipiellen Bedeutung des Kausalsatzes für die Realwissenschaften wäre aber einer denknotwendigen Ableitung, einem strengen Beweise desselben die allergrößte grundsätzliche Bedeutung zuzuerkennen.

Ist das Kausalprinzip aus dem Identitätsprinzip ableitbar?

Leider ist man sich nicht einig darüber, was der Identitätssatz besagt. Das erschwert die allgemeine Betrachtung der Beziehung dieses Prinzips zum Kausalprinzip. Immerhin läge eine Beziehung zwischen beiden Prinzipien auf der Hand, wenn in der Tat die Wirkung mit der Ursache im Grunde identisch wäre. Indessen kann das Identitätsprinzip nicht wohl Identität von Ursache und Wirkung fordern, weil diese tatsächlich nicht besteht, jedenfalls nicht im streng logischen Sinne, der für das logische Prinzip allein in Frage kommt. Keine Interpretation kann die logische Nichtidentität von Ursache und Wirkung aus der Welt schaffen. Lassen wir einmal die seelische Wirklichkeit außer Betracht; im Gebiete des Seelischen ist es z. B. ganz klar, daß der Gedanke, der ein Gefühl hervorruft, nicht ganz oder teilweise mit letzterem identisch ist; aber es wird

Ursache und Wirkung sind nicht im streng logischen Sinne identisch.

ja darum gestritten, ob und wie der Kausalbegriff auf das Psychische anwendbar sei. Bleiben wir in der körperlichen Welt, so scheint die Sachlage günstiger für die Identitätshypothese zu liegen. Die kinetische Naturauffassung, welche seit Jahrhunderten eine große Bedeutung besonders für die Physik hat, sieht in allen Naturvorgängen, in allen körperlichen Ursachen und Wirkungen Bewegungsprozesse. Dies scheint die Ansicht zu begünstigen, daß die Wirkung mit der Ursache identisch sei — aber es scheint doch nur so. Der elektrische Strom lenkt die Magnetnadel ab. Er stellt eine Elektronenbewegung dar. Diese ist aber doch eine Elektronenbewegung und nicht die Bewegung einer Magnetnadel; von einer Identität der Bewegungen im strengen Sinne, im Sinne der Logik, kann nicht die Rede sein. Auch wenn man auf Ätherbewegungen sich beruft, die die Bewegung der Magnetnadel vermitteln, bleibt die Sache im Prinzip dieselbe. Wir haben in Ursache und Wirkung stets zwei unterscheidbare, verschiedene, nicht-identische Bewegungen (oder allgemeiner Vorgänge) vor uns, und der Identitätssatz fordert gewiß nicht die Identität des Verschiedenen, wie man das Prinzip auch fassen mag.

Auch die energetische Naturauffassung scheint die Ansicht zu stützen, daß Ursache und Wirkung identisch seien. Drehung einer Dynamomaschine ruft als Wirkung einen elektrischen Strom hervor. Auf der einen Seite wird Energie geopfert, auf der anderen Seite tritt elektrische Energie auf. Da dies Opfer im Elektromotor (einigermaßen) wieder rückgängig gemacht werden kann, liegt es nahe, die ursprüngliche, die produzierte elektrische und die neu entstehende ursprüngliche Energie als „dieselbe" zu bezeichnen. Indessen ist das nur eine konventionelle Ausdrucksweise. Wir sind oft sehr weitherzig in bezug auf die Verwendung solcher Ausdrücke. Ich sage ja sogar, jemand besitze „denselben" Hut wie ich, was nur heißen soll: den gleichen Hut. Von einer streng logischen Identität der geopferten und der neuentstehenden (etwa elektrischen) Energie kann gar nicht die Rede sein. Denn das Logisch-Identische muß in allen Stücken übereinstimmen; die verschiedenen „äquivalenten" Energiemengen stimmen aber in ihren Eigenschaften durchaus nicht völlig überein — eben darum nehmen wir ja verschiedene Energiearten an.

Gründe gegen das Bestreben, Veränderung in Beharren umzudeuten.

Man will — was schon die Eleaten anstrebten — die Veränderung, das Auftreten eines Neuen, aus dem Weltbilde eliminieren; man will sie fortinterpretieren. Doch ist dies prinzipiell undurchführbar, solange man die in unmittelbarem Erleben und Erinnerung erfaßte Veränderung innerhalb des Bewußtseinsstromes nicht zu leugnen wagt. Zu solchem Radikalismus entschließen sich Philosophen der Gegenwart nicht leicht. So beschränken sie sich darauf, möglichst viel von der Veränderung in Beharren umzudeuten. Die Tendenz des menschlichen Geistes zum Einfachen kann in dieser Richtung sich geltend machen: Beharren ist einfacher als Veränderung. Der Ding- und der radikale Substanzbegriff bahnen jenen Interpretationen den Weg; hinter dem je nach der Stellung, Beleuchtung usw. wechselnden Bilde eines Dinges, das unsere Sinne uns geben, suchen wir das unverändert beharrende Ding selbst. Die naturwissenschaftlichen Sätze von der Erhaltung der Masse und der Energie und die

kinetische Naturauffassung bestärken die Neigung, hinter der Veränderung und in ihr überall ein Gleichbleibendes zu suchen. Aber alles dies kann nicht zur Stütze der Ansicht dienen, daß das denknotwendige, logische Identitätsprinzip die Veränderung ausschließe, nur Beharren zulasse und Identität von Ursache und Wirkung fordere. Wäre dies der Fall, so dürfte es überhaupt keine Veränderung, auch keine raum-zeitliche, keine Bewegung und keinen Energieumsatz geben; mit einer nur beschränkten Reduktion der Veränderung auf Beharren wäre dann nichts Befriedigendes erreicht.

Vieldeutigkeit des Wortes Identität.

Man muß berücksichtigen, daß die Bezeichnung Identität vieldeutig ist. Ich kann sagen: ich bin derselbe, der vor so und so viel Jahren sein Studium begann; aber ich sage mit ebenso viel Recht: ich bin nicht mehr derselbe wie damals. Hier ist von „Dieselbigkeit", von Identität in verschiedenem Sinne die Rede. Auf diese Vieldeutigkeit haben die Philosophen längst aufmerksam gemacht. Im strengen, absoluten Sinne bin ich nicht identisch mit jenem Jüngling, der die Universität bezog. In diesem absoluten Sinne ist die Wirkung nicht mit der Ursache identisch, obgleich sie in mancher Hinsicht mit ihr übereinstimmen mag; denn die Wirkung unterscheidet sich von der Ursache durch andere Eigenschaften oder Bestimmungen. Man mag immerhin sagen, die durch eine Bewegung verursachte Bewegung sei identisch mit der ersteren, sei nur deren Fortsetzung; dabei kann es sich jedoch nicht um absolute, strenge Identität handeln. Die Identität aber, von der im Identitätsprinzip der Logik die Rede ist, ist die strenge, absolute Identität. Wenn also die Wirkung „dieselbe" Bewegung oder Energie repräsentiert, die vorher die Ursache darstellte, so bringt dies nicht Ursache und Wirkung in die Beziehung der Identität, von der das Identitätsprinzip spricht.

Das Kausalprinzip ist aus dem Identitätsprinzip nicht ableitbar.

Unter diesen Umständen verheißen die Versuche, das Kausalprinzip aus dem Identitätsprinzip abzuleiten, von vornherein keinen Erfolg. In der Tat zeigt die speziellere Betrachtung derselben ihre Unzulänglichkeit. Es wird bei solchen Versuchen dem logischen Identitätsprinzip ein anderer Satz untergeschoben, der nicht streng aus ihm ableitbar ist, bzw. es wird der Begriff der absoluten, logischen Identität nicht festgehalten. Nehmen wir etwa die Formulierung: jeder Gegenstand ist mit sich selbst identisch, so ist daraus in keiner Weise abzuleiten, daß jede Veränderung eine Ursache haben müsse, bzw. daß dieselbe Ursache immer dieselbe Wirkung hervorbringen müsse. Jene Formulierung wäre durchaus mit der Annahme verträglich, daß ein Ding sich ohne Ursache änderte, z. B. heiß würde. Man kann nicht einwenden, nach der Veränderung wäre ja dasselbe Ding nicht mehr mit sich identisch, was doch von jedem Gegenstande gelten müsse. Im Sinne der Logik ist das heiße Ding eben nicht derselbe „Denkgegenstand" wie das kalte Ding, sondern wir haben zwei Denkgegenstände, weil wir in ihnen zweierlei denken; der kalte und „derselbe" erhitzte Körper sind ebenso gut logisch verschiedene Gegenstände wie Sonne und Mond.

Das Widerspruchsprinzip schließt Veränderung nicht aus.

Die Sachlage wird deutlicher, wenn man nicht den Satz der Identität, sondern den ihm verwandten und gegenüberstehenden Satz vom Widerspruch zugrunde legt. Das Widerspruchsprinzip sagt, daß demselben Gegenstand (S)

nicht dasselbe Prädikat (P) zugesprochen und abgesprochen werden darf; die widersprechenden Urteile „S ist P“ und „S ist nicht P“ können nicht beide richtig sein. Bringt nun die Annahme ursachloser Veränderung oder die Annahme der Veränderung überhaupt einen Widerspruch mit sich? Liegt z. B. ein Widerspruch darin, daß dasselbe Ding bald heiß, bald kalt sein soll? Offenbar nicht — denn die Veränderung fordert nicht die widersprechenden Urteile: das Ding ist heiß; das Ding ist nicht heiß. Sie fordert, daß wir von dem Dinge das Prädikat bejahen: zu der einen Zeit heiß, und das andere Prädikat verneinen: zu anderer Zeit heiß. Oder wir können dasselbe Prädikat im einen Urteil bejahen und im anderen verneinen; dann dürfen wir aber nicht in beiden Urteilen dasselbe Subjekt zugrunde legen. Wir werden etwa im einen Urteil vom Ding, wie es gestern war, sprechen, und im anderen vom veränderten gegenwärtigen Dinge. Es ist also kein Widerspruch in der Anerkennung der Veränderung vorhanden, und es besteht demnach kein Anlaß, irgend welche ferneren Annahmen zu machen, um ihn zu beseitigen; es ist kein Grund vorhanden, etwa zu diesem Zwecke eine Ursache zu fordern, in der das in der Veränderung neu Auftretende schon vorhanden war.

Man kann den vermeintlichen Widerspruch im Begriff der Veränderung durch folgende Überlegung beleuchten. Ich kann jetzt sagen: die Sonne scheint. Dies Urteil muß als wahres von der Zeit (und vom Ort) ebenso unabhängig sein wie der Pythagoreische Lehrsatz; es muß wie dieser zu aller Zeit (und allerorten) gelten. Also muß immer (und allerorten) die Sonne scheinen. Nehmen wir Veränderung, also Anderssein zu anderer Zeit (und Anderssein an anderem Orte) an, nehmen wir in unserem Beispiel das Urteil hinzu: zu irgendeiner Zeit (irgendwo) scheint die Sonne nicht, so entsteht ein heilloser Widerspruch. — Diese ganze eleatisierende Überlegung bricht zusammen, wenn man erwägt, was wir mit dem Urteil: die Sonne scheint, bei reiflicher Überlegung allein meinen können; wir sagen das Scheinen nicht für alle Zeiten und Orte aus, sondern für einen bestimmten Zeitpunkt und Ort. Wenn wir dies ausdrücklich hinzufügen, bleibt das Urteil ewig und überall gültig. Doch ist solche Pedanterie im Leben zumeist überflüssig, weil die Zeit- und Ortsbestimmung sich zumeist von selbst versteht; die Zeit wird ja auch durch das Verbum ausgedrückt, nur eben relativ zum gegenwärtigen Zeitpunkt, was nicht besonders ausgesprochen wird.

Berücksichtigt man dies, so fällt der Widerspruch fort. Dazu bedarf es nicht der Fortinterpretation der Veränderung, der Leugnung des Entstehens von Neuem, also auch nicht einer Kausalauffassung, die diese Fortinterpretation, diese Leugnung ermöglichen soll.

Das Ursache-Wirkungs-Verhältnis und der logische Grund-Folge-Zusammenhang. Wie man versucht hat, die Kausalität durch die Identitätsbeziehung zu bestimmen, so hat man in der alten wie in der neuzeitlichen Philosophie vielfach den Ursache-Wirkungs-Zusammenhang mit dem logischen Grund-Folge-Zusammenhang gleichgesetzt. In typischer, weil radikalkonsequenter Weise ist dies von Spinoza geschehen.

Gleichsetzung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhang und Grund-Folge-Zusammenhang.

Übrigens stehen sich beide Auffassungen ganz nahe. Aus dem logischen

Grunde: alle Menschen sind sterblich, ergibt sich die logische Folge oder Konsequenz: einige Menschen sind sterblich. Eigentlich steckt nun diese logische Folge schon in dem Grunde und braucht nur als solche aus ihm besonders hervorgehoben zu werden. Das als logischer Grund dienende Urteil: alle Menschen sind sterblich, schließt die Folge ein, daß einige Menschen sterblich sind. Die Folge ist identisch mit einem Teil von dem, was im Grunde behauptet wird.

Ist nun der Kausalzusammenhang mit dem logischen Grund-Folge-Zusammenhang gleichzusetzen? Ergibt sich die Wirkung aus der Ursache wie die logische Folge aus dem logischen Grunde? Das dürfen wir nicht sagen; denn die Beziehung zwischen Grund und Folge kann nur zwischen Urteilen bestehen. Wenn ein Urteil sich aus einem (oder mehreren) anderen ergibt, aus ihm (bzw. ihnen) folgt, so ist ersteres logische Folge, letzteres (bzw. letztere) logischer Grund. Wo keine Urteile vorliegen, hat es gar keinen Sinn, von logischem Grund und logischer Folge zu sprechen. Wir gebrauchen allerdings die Wörter Grund und Folge auch gleichbedeutend mit Ursache und Wirkung; wir sprechen z. B. von Gründen und Folgen einer Explosion. Man muß aber zwischen Realgründen (oder Ursachen) und logischen Gründen durchaus unterscheiden (und ebenso zwischen Realfolgen (oder Wirkungen) und logischen Folgen). Will man beides gleichsetzen, so muß man annehmen, alle Ursachen (und Wirkungen) seien Urteile.

Kritik der Gleichsetzung.

In der Tat hat die Metaphysik zuweilen versucht, den Kausalzusammenhang der Wirklichkeit als einen rein logischen Zusammenhang zu begreifen. Wie man solche Versuche auch beurteilen mag, wir können jedenfalls nicht von vornherein bei der Festlegung des Kausalbegriffes, welcher der Naturerkenntnis dienen soll, die Voraussetzung aufnehmen, daß alle Ursachen und Wirkungen Urteile sind; darum können wir diese Kausalauffassung nicht zugrunde legen.

Wenn man nun sowohl von Real- oder Kausalgründen und -Folgen wie von logischen Gründen und Folgen spricht, so weist das auf Beziehungen zwischen Kausalzusammenhang und logischem Grund-Folge-Zusammenhang hin. Diese sind zum Teil offenbar äußerlich und für uns unwesentlich. So wird, wenn man von kausaler bzw. logischer Folge spricht, das zeitliche Folgen auf die Ursache bzw. den logischen Grund ausgedrückt; aber dies zeitliche Folgen ist für die logische Konsequenz ganz äußerlich und belanglos. Die logische Folge hängt mit dem Grunde (z. B. der abgeleitete mathematische Lehrsatz hängt mit allen seinen Voraussetzungen) in einer innerlich logischen Weise zusammen, für welche es ganz bedeutungslos ist, daß wir Menschen die Folge (also z. B. den Lehrsatz) erst nach dem Grunde (nach den Voraussetzungen) einsehen; können wir doch in einfachen Fällen in einem Blicke Grund, Folge und deren logischen Zusammenhang durchschauen, da dieser im Prinzip mit Zeit und Sukzession nichts zu tun hat.

Wir werden vielleicht auf für uns Wesentlicheres aufmerksam, wenn wir bedenken, daß wir immerfort von der Ursache auf die Wirkung schließen. Ist da nicht die Ursache der logische Grund, die Wirkung die logische Folge? Dann müßte allerdings umgekehrt oft die Wirkung der logische Grund, die Ursache

die logische Folge sein, weil wir ja auch von der Wirkung auf die Ursache schließen. Weder das eine noch das andere ist richtig. Vielmehr folgt logisch aus dem Urteil über die Ursache als Konsequenz das Urteil über die Wirkung. Aus der Erkenntnis, aus dem Urteil, daß der Wind nach Süden umschlägt, erschließe ich das Urteil, daß wärmeres Wetter eintreten wird. Der logische Folgezusammenhang würde lauten:

Südwind bewirkt, daß das Wetter wärmer wird.
Südwind tritt ein.

Also wird das Wetter wärmer.

Hier ist ein Urteil, welches die Existenz oder das Eintreten der Ursache behauptet, logisch ein Bestandteil des Grundes; aus diesem ergibt sich als Folge das Urteil, daß die Wirkung kommt.

Man muß aber beachten, daß hiermit nicht etwa eine besondere, nur dem Kausalzusammenhang eigene Verbindung mit dem Grund-Folge-Zusammenhang erwiesen ist. Obwohl die Blüte der Rose nicht Ursache des Blattes an ihrem Stiele ist, obwohl der Tag nicht Ursache der Nacht ist, schließe ich aus den Regelzusammenhängen, die Blüte und Blatt bzw. Tag und Nacht verbinden, in ganz entsprechender Weise vom einen auf das andere, wie ich von der Ursache auf die Wirkung schließe.

Wir finden hier also keinen Anlaß, den Kausalzusammenhang mit dem Grund-Folge-Zusammenhang in eine engere Verbindung zu bringen, die ersteren gegenüber anderen Regelzusammenhängen charakterisierte. Gewiß dienen Kausalgesetze dazu, in logischen Folgesätzen Wirkungen, also reale Tatsachen, zu bestimmen; übrigens werden in dieser Weise nicht nur Wirkungen, sondern auch Ursachen bestimmt. Aber andere Regeln und Gesetze, die im Reiche der Tatsachen herrschen, haben dieselbe Funktion.

Das Kausalprinzip ist nicht aus dem Satz vom zureichenden Grunde ableitbar.

Es liegt nahe, in folgender Weise das Kausalprinzip mit einem vom Grunde handelnden Prinzip der Logik in Verbindung zu bringen. Als „Satz vom (zureichenden) Grunde" bezeichnet man wohl die logische Forderung oder Norm, daß jedes Urteil, welches auf Gültigkeit Anspruch macht, in genügender Weise begründet sein müsse. Daraus könnte man ableiten, es müsse auch das („Existenzial"-)Urteil, ein Vorgang existiere, er geschehe wirklich, seine Begründung erhalten. Die Befriedigung dieser Forderung werde durch das Kausalprinzip ermöglicht: wenn jeder Vorgang eine Ursache hat, auf die er stets folgt, so ergibt sich die Existenz des Vorganges aus der Existenz der Ursache als logische Folge (genauer: das Existenzialurteil, der Vorgang geschehe wirklich, ergibt sich aus dem Existenzialurteil, seine Ursache sei wirklich). So ermögliche das Kausalprinzip die logische Begründung derartiger Urteile über das Wirkliche; es ermögliche also die Befriedigung des Satzes vom Grunde bei seiner Anwendung auf das Wirkliche (richtiger: auf Urteile über das Wirkliche). Mit dem Satz vom Grunde sei also das Kausalprinzip notwendig gefordert. Wenn im Prinzip alle Existenzialurteile logisch begründbar erscheinen sollen, so müsse auch alles seine Ursache haben, die seine Wirklichkeit gesetzmäßig bestimmt;

damit hätten wir eine streng logische Ableitung des Kausalprinzips aus einem Grundprinzip der Logik.

Das wäre sicherlich ein sehr bedeutsames Resultat in Anbetracht der Wichtigkeit des Kausalsatzes. Leider ist die Ableitung durchaus nicht zwingend. Existenzialurteile können nämlich ihre Begründung erhalten, ohne daß das Kausalprinzip dabei eine Rolle spielt. Den gleichen Dienst können andere den Wirklichkeitszusammenhang beherrschende Regeln und Gesetze leisten. So kann ich das Existenzialurteil, daß in wenigen Stunden wirklich Nacht sein werde, logisch begründen aus der Regel, daß immer auf den Abend die Nacht folgt. Ihre ursprünglichste Rechtfertigung aber erhalten Existenzialurteile dadurch, daß die Wahrnehmung die Existenz eines Wirklichen sichert. Ich urteile, daß ich jetzt eine Weißempfindung habe. Dies Urteil ist durchaus „zureichend" durch meine Wahrnehmung dieser Empfindung gesichert; es bedarf keiner Begründung durch das Existenzialurteil, daß die Ursache dieser Empfindung wirklich sei. Existenzialurteile über das Wirkliche könnten also „zureichend" gesichert und begründet sein, auch wenn das entsprechende Wirkliche keine Ursache hätte. Demnach ist das Prinzip, daß alles Wirkliche eine Ursache habe, nicht aus dem Satz vom Grunde ableitbar; auch diese Ableitung des Kausalprinzipes versagt.

Daß es so überaus einleuchtend erscheint, wenn das Kausalprinzip als Anwendung des Satzes vom Grunde auf das Wirkliche bezeichnet wird, ist leicht erklärlich. Der Satz vom Grunde fordert, daß wir bei jedem Urteil fragen: warum? Die Antwort auf das „Warum" gibt ein „Weil", gibt der logische Grund; den wollen wir kennen lernen. Fragen wir angesichts eines Wirklichen, etwa eines Vorgangs: warum?, so wollen wir (oft) die Ursache (oft allerdings auch den Zweck) kennen lernen. Die Ursache scheint also ganz dem logischen Grunde zu entsprechen. In Wirklichkeit ist nicht die Ursache selbst die Antwort auf die Frage nach dem „Warum" des wirklichen Vorganges; denn eine Antwort muß etwas aussagen, und dazu ist eine physikalische Ursache z. B. doch nicht fähig. Auf das „Warum" bildet eine Aussage, ein Urteil über die Ursache bzw. ihre Existenz die Antwort; wenn z. B. gefragt wurde, warum es brennt, lautet die Antwort: weil der Blitz einschlug. Wir suchen also auch beim „Warum" eines Vorganges einen logischen Grund, ein Urteil. Da immerfort Urteile über Ursachen und ihre Existenz als logische Gründe dienen, die die Frage: warum? beantworten, stehen für uns Ursachen und Gründe einander so nahe. Es ist auch zu beachten, daß im Seelenleben der logische Grund als bewußter Gedanke oft die Ursache ist, die die logische Folge, diesen andern Gedanken, ins Bewußtsein bringt; so verursacht der Gedanke, daß alle Menschen sterben müssen, den anderen (Folge)-Gedanken, daß auch ich sterben muß.

Notwendigkeit des Ursache-Wirkungszusammenhanges? Wenn ich urteile, daß alle Menschen sterblich sind, so muß ich auch anerkennen, daß ich sterblich bin. Dies Müssen ist logische Notwendigkeit. Aus dem logischen Grunde ergibt sich denknotwendig die logische Folge. Wenn der Ursache-

Wirkungszusammenhang ein Grund-Folgezusammenhang im Sinne der Logik wäre, so wäre der erstere im gleichen Sinne notwendig.

Wir haben jene Kausalauffassung abgelehnt. Nun wird aber der Kausalzusammenhang von vielen als ein notwendiger bezeichnet, die in dieser Ablehnung mit uns übereinstimmen. Sie sprechen wohl von einer realen Notwendigkeit, die sie der logischen Notwendigkeit gegenüberstellen. Wir müssen fragen, was damit gemeint sei.

Ist der Zusammenhang von Ursache und Wirkung ein real notwendiger?

Um Klarheit hierüber zu gewinnen, stellen wir zunächst fest, was nicht gemeint ist. In bezug auf den Kausalzusammenhang kann nämlich in recht verschiedenem Sinne von Notwendigkeit gesprochen werden. Nach der analytischen Kausalauffassung läßt sich aus bloßer Kenntnis bzw. Analyse der Ursache ohne Hilfe der Erfahrung die Wirkung denknotwendig erkennen oder ableiten. Wenn die Ursache identisch wäre mit der Wirkung, so wäre letztere ja sofort denknotwendig erkannt, wenn wir die Ursache kennten. Und wenn die Wirkung logische Folge der Ursache wäre, so wäre sie aus dieser denknotwendig ableitbar, wie jede logische Folge aus ihrem Grunde, wie z. B. die Erkenntnis meiner Sterblichkeit aus der Erkenntnis, daß alle Menschen sterblich sind.

Nach der analytischen Kausalauffassung besteht also ein Zusammenhang von logischer Denknotwendigkeit zwischen der Erkenntnis der Ursache und der Erkenntnis der Wirkung. Jedoch die analytische Kausalauffassung ist, wie Hume und Kant richtig gesehen haben, unhaltbar. Ohne Hilfe der Erfahrung könnten wir nicht einmal in den allereinfachsten Fällen aus der Ursache die Wirkung herausanalysieren und erschließen. Wer zum ersten Male sähe, wie eine Stahlkugel gegen eine andere sich bewegt, könnte die Wirkung des Stoßes nicht vorhersagen, es sei denn, er benutzte dabei Kenntnisse und Gesetze, die ihrerseits auf der Erfahrung fußen. Die Erfahrung allein zeigt uns zuletzt, welche Wirkung an eine Ursache geknüpft ist. Dies besagt die Lehre vom synthetischen Charakter des Kausalzusammenhanges.

Wenn wir auf Grund der Erfahrung wissen, welche Wirkung eine Ursache hervorbringt, wenn wir z. B. die zersetzende Wirkung des elektrischen Stromes auf Kupfervitriollösung in einem Kausalgesetz bereits festgelegt haben, so können wir mit Hilfe dieses Wissens, unter Voraussetzung des entsprechenden Gesetzes, logisch denknotwendig ableiten, was bei erneuter Verwirklichung der Ursache geschieht. Diese Notwendigkeit ist aber natürlich nicht gemeint, wenn man den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung real notwendig nennt. Die Denknotwendigkeit bezieht sich ja auf einen gedanklichen Zusammenhang; die logische Ableitung des Existenzialurteils: die Wirkung trete ein (z. B. Kupfervitriol werde zersetzt), ist denknotwendig. Das hat mit realer Notwendigkeit der Wirkung selbst nichts zu tun.

Man kann auch von einer Notwendigkeit des Kausalprinzips selbst sprechen, wenn man meint, dies sei denknotwendig oder doch erkenntnisnotwendig. Nun enthält der Satz: eine vorliegende Veränderung habe keine Ursache, sie trete spontan auf, ohne ein Antezedens zu haben, dem sie als Wirkung folgt, keinen Widerspruch; er ist durchaus denkmöglich. Von strenger Denknotwendig-

keit des Kausalprinzipes, nach welchem jede Veränderung ihre Ursache hat, kann also nicht die Rede sein. Erkenntnisnotwendig ist die Regelmäßigkeitsvoraussetzung, die im Kausalprinzip spezialisiert wird; dagegen ist diese Spezialisierung selbst nicht unbedingt erkenntnisnotwendig. Wie dies jedoch sich auch verhalten mag, jedenfalls wäre die Notwendigkeit des Kausalprinzips die eines Gedankens, eines Urteils. Sie ist demnach ebenfalls nicht gemeint, wenn der Zusammenhang von Ursache und Wirkung, der z. B. zwischen körperlichen Bewegungen besteht, real notwendig genannt wird.

Was aber kann dann reale Notwendigkeit bedeuten? Wir können hier auf das bereits über den Notwendigkeitsbegriff Gesagte zurückverweisen (vgl. S. 115). Für mich als Persönlichkeit, also denkendes, fühlendes, handelndes Wesen, hat es einen guten Sinn, wenn ich unterscheide zwischen der Aussage: ich muß so denken, fühlen, handeln, und der anderen: ich denke, fühle, handele unter allen Umständen so. Ich kann das Müssen, die Notwendigkeit erleben, kann probieren und erfahren, daß es nicht anders geht, auch wenn ich es will oder wollte. Dieses Müssen, diese Notwendigkeit legen wir nun den anderen Dingen in der Welt, dem Wirken der Ursachen und dem Bewirktwerden der Wirkungen bei. Der Magnet kann nicht anders als Eisen anziehen; das Eisen erleidet die Kritik. Anziehung notwendig. Diese Aussagen würden für uns mehr bedeuten als die Sätze, daß der Magnet unter allen Umständen Eisen anzieht, daß das Eisen vom Magneten immer und überall angezogen wird, wenn Magnet und Eisen Wesen wären, die einen Willen hätten, die dem Anziehen zu widerstreben versuchen könnten, die erleben könnten, daß dies unmöglich ist. Wenn das nicht der Fall ist, macht es keinen Unterschied, ob wir sagen: der Magnet muß Eisen anziehen, oder: der Magnet zieht unter allen Umständen Eisen an. Das erstere ist nur ein bildlicher und leicht zu allerhand Verfehltem verleitender Ausdruck für das letztere. Nun mag es ja möglich sein, daß die Dinge solche wollende Wesen sind, die erfahren können, daß ihr Wille nicht gegen die Kausalgesetze wirken kann, die eine Notwendigkeit verspüren und erleiden können. Der Metaphysik der neueren und neuesten Zeit ist ja der Gedanke sehr geläufig, daß alles Wirkliche im Grunde Wille sei. Doch müssen wir die Entscheidung über diese Hypothesen letzten metaphysischen Betrachtungen überlassen. Der Kausalbegriff, der uns zur Naturerkenntnis dienen soll, darf durch solche Hypothesen nicht beschwert sein. Wir können also nicht den Kausalzusammenhang als einen real notwendigen charakterisieren.

Fassen wir endlich noch eine Begründung ins Auge, die die Notwendigkeit im Ursache-Wirkungszusammenhang dartun soll! Wenn die Ursache ihre Wirkung nicht notwendig nach sich zöge, so müßten wir annehmen, daß auf denselben Vorgang bald der eine, bald der andere folgen würde, wie es tatsächlich geschieht, wo Vorgänge zufällig aufeinanderfolgen, die nichts miteinander zu tun haben. Nun erkennen wir aber, daß im Bereiche unserer Erfahrung auf dieselbe Ursache immer dieselbe Wirkung folgt. Also muß die Ursache ihre Wirkung notwendig nach sich ziehen.— Diese so einleuchtend erscheinende Überlegung ist nicht als beweisend zu betrachten, weil der erste Vordersatz

des Schlusses nicht richtig ist. Wenn ein B nach einem A kommt, ohne daß dieser Zusammenhang notwendig wäre, ergibt sich nicht denknotwendig, daß nach dem gleichen A weiterhin nicht wieder und immer wieder B eintreten könnte. Es ergibt sich bezüglich dessen, was weiterhin auf A eintreten wird, rein gar nichts; B kann so gut eintreten wie irgend etwas anderes. Es fehlt uns allerdings jeglicher streng logische Grund für die Annahme, daß auf A immer wieder B eintreten werde. Wenn bisher in der Erfahrung so oft regelmäßige Sukzessionen feststellbar waren, so verstehen wir nicht, warum die Regeln von der Wirklichkeit eingehalten wurden. Wir kennen keinen Grund für die Regelmäßigkeit im Wirklichen, auch nicht für die als Kausalität aufzufassende Regelmäßigkeit der unmittelbaren Sukzession. Ein solcher Grund wird uns nicht in befriedigender Weise offenbar, wenn wir annehmen, daß Ursache und Wirkung notwendig aufeinanderfolgen. Wir können nun weiter fragen, warum sie denn notwendig aufeinanderfolgen müssen. Und wenn die Wirkung einmal oder auch zehnmal notwendig auf die Ursache folgte, warum muß dann auch weiterhin wieder auf dieselbe Ursache dieselbe Wirkung notwendig folgen? Wir kommen keinen Schritt weiter, indem wir eine Notwendigkeit in den Kausalzusammenhang hineinlegen; denn daß eine Notwendigkeit, die in einem oder in so und so vielen Fällen bestand, in allen Fällen bestehen müsse, ist ebensowenig einzusehen, wie daß eine Sukzession , die einmal oder mehrfach stattfand, immer wieder stattfinden müsse. Wenn ich früher einmal oder auch bisher immer notwendig etwas tun mußte, folgt nicht, daß es auch in Zukunft immer so sein wird, — falls ich nicht schon voraussetze, daß die Zukunft sich nach der Vergangenheit richten wird. Es ist genau so wenig zu beweisen und zu begreifen, daß die Zukunft sich nach der Vergangenheit richten müsse, wie es zu beweisen und zu begreifen ist, daß sie es — ohne Notwendigkeit — tun werde; auf die Frage nach dem „Warum“ erhalten wir in beiden Fällen keine Antwort. Die Annahme: B folgt immer unmittelbar auf A, ist um nichts schwieriger als die andere: B folgt notwendig immer unmittelbar auf A, muß immer folgen. Wir haben nur die Notwendigkeit der Sukzession noch hinzu angenommen und nichts damit erreicht

Der Schein, die Notwendigkeit der Sukzession erkläre, daß diese allezeit Geltung behalte, entsteht, indem man der realen Notwendigkeit die Eigenschaften der logischen Notwendigkeit zuschreibt. Ein logisch notwendiger Zusammenhang gilt zu allen Zeiten. Daß aus dem Urteil: alle Menschen sind sterblich, denknotwendig folgt: einige Menschen sind sterblich, gilt immer und überall. Wenn wir also einen Zusammenhang als logisch notwendig erkannt haben, dann wissen wir, daß er zu allen Zeiten gelten muß. Es ist aber zu beachten, daß von einer anderen, von einer realen Notwendigkeit dies nicht gesagt werden kann; eine Notwendigkeit, die jetzt für mein Handeln bestehen mag, braucht durchaus nicht immer zu bestehen. Wenn ein Soldat einmal zurückweichen muß, braucht er doch nicht immer zu weichen. Wenn die „reale“ Notwendigkeit (wie man diese auch deuten mag) etwas anderes ist als logische Notwendigkeit, dann erscheint es keineswegs selbstverständlich, daß erstere ebenso zu allen

Zeiten bestehen bleibt, wie letztere es tut. Wenn ich annehme, daß eine Notwendigkeit für mein Handeln in Zukunft fortbestehen wird, so fuße ich auf der Regelmäßigkeitsvoraussetzung; dasselbe gilt für die Notwendigkeit, die man in das Wirken der Dinge hineinlegt. Sie kann daher nicht die Regelmäßigkeit der Sukzession befriedigend erklären. Die Annahme einer realen Notwendigkeit leistet also nicht, was man von ihr erwartet. Auch aus dieser Überlegung ergibt sich kein Anlaß, eine Notwendigkeit im Zusammenhange von Ursache und Wirkung anzuerkennen.

Ist Kausalität mit gesetzmäßiger unmittelbarer Sukzession gleichzusetzen? Wir fragten bereits, ob Kausalität mit streng regelmäßiger unmittelbarer Sukzession gleichzusetzen sei. Wir prüften im Anschluß an diese Frage eine Reihe anderer Kausalauffassungen. Diese gaben jedoch alle zu Bedenken Anlaß. Unter solchen Umständen wird man geneigt sein, sich jener Gleichsetzung von Kausalität und streng regelmäßiger unmittelbarer Sukzession wieder zuzuwenden, wenn man auch anerkennen muß, daß sie dem landläufigen Denken nicht Genüge tut.

Oder sollte auch diese, jedenfalls durch Einfachheit und Klarheit sich empfehlende Kausalauffassung undurchführbar sein? Gegen ihre Aufstellung durch empiristische Philosophen hat man eingewandt, daß ihr zufolge der Tag die Ursache der Nacht sein müsse, weil hier regelmäßige Folge stattfinde. Zunächst kann man darauf erwidern, diese Folge sei keine unmittelbare, sondern eine durch die Abenddämmerung vermittelte; doch scheint diese Antwort nicht befriedigend, da wir ja die Abenddämmerung ebenfalls nicht als Ursache der Nacht betrachten.

Warum kann der Tag nicht als Ursache der Nacht gelten?

Es muß offenbar andere Gründe geben, die uns verhindern, im Tag die Ursache der Nacht zu sehen. Unsere Überzeugung, daß die Nacht eine andere Ursache haben müsse, ist nicht nur von landläufigen Kausalauffassungen aus verständlich; sie bleibt auch berechtigt, wenn man in einer Ursache nur ein unmittelbar regelmäßig vorhergehendes Wirkliches sieht, das mehr ist als eine leere Zeitstrecke. Was wir als Tag bezeichnen, ist zunächst eine gewisse Zeitstrecke, die durch ihren Inhalt charakterisiert wird, d. h. durch mancherlei Ereignisse, die sie einschließt. Die Nacht ist ebenfalls eine Zeitstrecke mit einem für sie charakteristischen Inhalt. Nun nennen wir nicht eine leere Zeitstrecke Ursache der folgenden, obwohl ja hier streng regelmäßige unmittelbare Folge stattfindet; wir wenden den Kausalbegriff auf das Wirkliche in der Zeit an. Die leere Zeitstrecke von etwa 8 Stunden, welche die Nacht ausmacht, hat überhaupt keine Ursache. Die Frage nach der Ursache der Nacht muß also durch die Frage nach der Ursache für den charakteristischen Inhalt dieser Zeitstrecke ersetzt werden; diesen mag man in der Dunkelheit erblicken. Wir hätten also nach dem regelmäßigen unmittelbaren Antezedens der nächtlichen Dunkelheit zu forschen. Wir können dies Antezedens nicht in der Tageshelligkeit finden; sie kann nicht die vollständige Ursache sein, weil sonst das Nachtdunkel unmittelbar eintreten müßte, nachdem nur für einen Augenblick Tageshelle geherrscht. Da die Wirkung übrigens immer auf die Ursache folgen

Die Begriffe Ursache und Wirkung werden auf Wirkliches in der Zeit, nicht auf leere Zeitstrecken angewandt.

muß, ganz gleich, wann letztere statthat, ist es bedeutungslos, ob die Helligkeit am Tage oder zu anderer Zeit vorliegt; wenn sie Ursache des nächtlichen Dunkels wäre, müßte zu jeder Zeit auf einen Moment der Helligkeit unmittelbar Dunkelheit folgen. Diese Überlegung zeigt zugleich, daß wir auch nicht irgendein Stadium fortgeschrittener Dämmerung als Ursache der Nacht bezeichnen können, wenn die Ursache unmittelbares streng regelmäßiges Antezedens sein soll; denn auf die gleiche Dämmerungsbeleuchtung, nach welcher abends das nächtliche Dunkel eintritt, folgt morgens Tageslicht. Allgemein kann auf jeden Helligkeitsgrad größere oder geringere Helligkeit folgen. Wenn wir den Inhalt der Zeitspanne des Tages durchsuchen nach einem Etwas, auf das immer sofort Dunkelheit folgt, so finden wir, daß nur die Abblendung, das Zurückhalten fast aller Lichtstrahlen, dieser Forderung genügt. Darum sehen wir mit Recht die Ursache der Nacht nicht im Tage, sondern im „Sonnenuntergang", der ja nichts anderes ist, als die Abblendung der Sonnenstrahlen durch den relativ zur Sonne sich bewegenden Horizont. — Wir sehen dabei noch davon ab, daß Nacht, Dunkelheit also, eigentlich physikalisch genommen nicht etwas positiv Wirkliches ist, sondern das Fehlen eines Wirklichen, des Lichtes, bedeutet.

Es dürfte bisher nicht gelungen sein, eine streng regelmäßige unmittelbare Sukzession aufzuweisen, welche doch nach feststehenden wissenschaftlichen Grundsätzen durchaus nicht als eine kausale angesehen werden könnte. Die Bestimmung der Kausalität als streng regelmäßiger unmittelbarer Sukzession erscheint also von dieser Seite her nicht ernstlich gefährdet. Es gibt allerdings hypothetische Lehren über die Beziehungen von Seele und Leib, welche durch eine solche Bestimmung des Kausalbegriffes in Schwierigkeiten geraten (wir denken an den sogenannten dualistischen Parallelismus). Doch bei der geringen Bedeutung jener Lehren (der dualistische Parallelismus ist ganz zurückgetreten gegenüber dem monistischen und der Wechselwirkungslehre) brauchen wir darauf nicht einzugehen.

Die Möglichkeit bleibt, daß die Kausalbeziehung mehr ist als eine bloß zeitliche Relation.

Wenn wir nun Kausalität mit streng regelmäßiger unmittelbarer Sukzession gleichsetzen — wobei Ursache und Wirkung nicht leere Zeitstrecken sein sollen —, so wollen wir damit die Möglichkeit nicht bestreiten, daß die Kausalbeziehung mehr ist als eine bloß zeitliche Relation. Eindringlich lehrt uns die psychologische Erforschung des Bewußtseinslebens, daß es Realbeziehungen von großer Bedeutung gibt, die nicht auf bloß zeitliche und räumliche Beziehungen zurückführbar sind. Das ist z. B. in folgender Weise zu verdeutlichen. In diesem Augenblicke gibt es eine große Vielheit von Bewußtseinsinhalten in Menschen und Tieren. Alle diese Inhalte sind gleichzeitig. Die Inhalte, die in diesem Momente mein Bewußtsein erfüllen, sind aber nicht nur gleichzeitig, sondern sie stehen untereinander in einer eigenartigen Realbeziehung, indem sie sich zur Einheit eines Bewußtseins verbinden; die gleiche Beziehung besteht nicht zwischen den gleichzeitigen Inhalten verschiedener Seelen. Meine gleichzeitigen Bewußtseinsinhalte stehen einander gleichsam viel „näher", als es die Gedanken tun, die sich auf verschiedene Seelen verteilen. Hier bedeutet aber das „näher" nichts Räumliches, sondern eine besondere Realbeziehung. Die Gedanken sind ja nicht von

räumlicher Natur, wenngleich sie an räumliche Vorgänge in der Hirnrinde gebunden erscheinen. Wie aber zwischen Bewußtseinsinhalten, also unmittelbar erfahrenen Wirklichkeiten, solche Realbeziehungen anzuerkennen sind, so mögen auch Ursachen und Wirkungen überall durch eine eigenartige, nicht nur zeitliche Beziehung verbunden sein; die Möglichkeit ist nicht von der Hand zu weisen, daß Kausalität mehr ist als eine zeitliche Beziehung. Letzte metaphysische Bemühungen mögen sich darauf richten, diese Möglichkeit zu erörtern, ev. hypothetisch festzulegen, wie diese eigenartige Beziehung aufzufassen sei, ob sie etwa der logischen Grund-Folgebeziehung gleichzusetzen sei oder dgl. Für den Kausalbegriff, wie wir ihn zur Naturerkenntnis brauchen, kommen solche abschließenden metaphysischen Gedanken vorläufig nicht in Betracht.

Aufeinanderfolge oder Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung? Aber auch wenn wir nur die zeitliche Beziehung der unmittelbaren Sukzession zur Bestimmung des Kausalbegriffes benutzen, wird unsere so klar erscheinende Definition noch von einer neuen, inneren Schwierigkeit bedroht. Diese erwächst wiederum aus dem Worte „unmittelbar", das sich in der Begriffsbestimmung findet. Es liegt nahe, folgende Überlegung anzustellen. Jenes Wort schließt aus, daß die Wirkung der Ursache in einem wenn auch noch so kleinen Zeitabstande folgt. Es muß demnach in dem Augenblicke, in dem die Ursache da ist, auch die Wirkung da sein. Also besteht keine Aufeinanderfolge von Ursache und Wirkung, sondern Gleichzeitigkeit. Damit stoßen wir auf die alte, oft erörterte Frage, ob die Wirkung mit der Ursache gleichzeitig ist oder auf sie folgt.

Grund für die Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung.

Humes Grund gegen die Gleichzeitigkeit.

Hume wandte sich gegen die Annahme der Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung, indem er sie *ad absurdum* zu führen strebte. Wir fassen das Wirkliche auf als eine beständige Folge von Ursachen und Wirkungen. Alles in der Welt ist Wirkung einer Ursache, die ihrerseits eine Ursache hat usw. Wenn nun Ursache und Wirkung gleichzeitig wären, so müßte auch wieder die Ursache der Ursache mit der gegenwärtigen Wirkung gleichzeitig sein. Umgekehrt müßten alle direkten und indirekten Wirkungen einer gegenwärtigen Ursache mit dieser gleichzeitig sein. Es könnte also weder Vergangenes noch Zukünftiges geben; die zeitlich ausgedehnten Kausalketten müßten in einen Zeitpunkt gleichsam zusammenschrumpfen. Die Basis solcher Konsequenzen muß verfehlt sein, da sie mit der Wirklichkeit schlechthin unverträglich sind. Also sind Ursache und Wirkung nicht gleichzeitig.

Die entgegenstehende Überzeugung wird auch auf Erfahrungstatsachen gestützt. Zwar muß man zugeben, daß entferntere, indirekte Wirkungen der Ursache nachfolgen. So tritt die Explosion einige Zeit nach dem In-Brandsetzen der Zündschnur ein, die zu der Dynamitpatrone führt. Wenn dagegen eine direkte Wirkung vorliegt, fällt der Zeitabstand fort. In der Tat beginnt die Erwärmung eines Leitungsdrahtes gleichzeitig mit dem sie verursachenden elektrischen Strom.

Dieser verwirrende Widerspruch, diese „Antinomie" ist nicht unlösbar. Es ist anzuerkennen, daß der Eintritt der Wirkung gleichzeitig ist mit der Vollen-

dung der Ursache; im gleichen Augenblicke, in dem die Ursache vollständig wird, in dem die Gesamtursache da ist, erscheint auch die Wirkung; sonst könnte ja von unmittelbarer Aufeinanderfolge so wenig die Rede sein wie von Gleichzeitigkeit. Die Gleichzeitigkeit der Vollendung der Ursache und des Eintrittes der Wirkung schließt aber eine Aufeinanderfolge nicht aus. Sind doch auch die Vollendung der elften und der Eintritt der zwölften Stunde gleichzeitig, und dennoch folgen die Stunden aufeinander! So folgt auch die Bewegungswirkung auf den verursachenden Stoß, obwohl sie zugleich mit ihm beginnt; sie bleibt eben bestehen, wenn die Ursache vorüber ist. Ferner nennt man den Vorgang, den Werdeprozeß, der zur Vollständigkeit der Ursache führt, der mit dieser abschließt, auch Ursache. Dieser Prozeß aber geht dem Beginn der Wirkung voraus.

Lösung der Schwierigkeit. Mit der Vollendung der Ursache ist auch die Wirkung da. Der Ursachvorgang, der zu dieser Vollendung führt, geht der Wirkung voraus.

Schließt man sich diesem üblichen Sprachgebrauch an, so kann sowohl von Gleichzeitigkeit als auch von (unmittelbarer) Aufeinanderfolge beim Ursache-Wirkungszusammenhang gesprochen werden. Sobald die vollständige Ursache da ist, ist auch die Wirkung da. Der Ursachvorgang, der zur Vollständigkeit der Ursache führt, geht der Wirkung voraus, und die dauernde Wirkung überlebt die Ursache und ihr Wirken. So bleibt die Sukzession im Weltgeschehen bestehen, und die Kausalketten behalten ihre zeitliche Ausdehnung.

Je nach der Sachlage fällt uns die Sukzession oder die Gleichzeitigkeit mehr auf. Trifft ein Billardball den andern, so fällt die Aufeinanderfolge der Bewegungen der Kugeln auf, und wir sind geneigt, von einer Sukzession von Ursache und Wirkung zu sprechen. Ist aber der Werdeprozeß der Ursache ein ganz plötzlicher und bleibt dann gar die vollständige Ursache dauernd bestehen und wirksam, so fällt uns auf, daß die Wirkung gleichzeitig eintritt und bestehen bleibt. Ein Beispiel gibt die schon erwähnte Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Dieser ist (scheinbar) mit einem Schlage da, und mit ihm setzt sofort die Wärmewirkung ein; Strom und Wärmewirkung können dann lange gleichzeitig bestehen — kein Wunder, daß wir hier von Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung sprechen.

Indessen ist anzunehmen, daß es sich nur um graduelle Unterschiede handelt. Jede vollständige Ursache wirkt während einer gewissen Zeit, und für diese Zeitdauer ist sie mit der Wirkung gleichzeitig vorhanden; auch der Stoß der Billardkugeln ist nicht absolut momentan, so kurz er dauern mag. Andererseits hat jede Ursache, so plötzlich sie einsetzen mag, ihren Werdeprozeß, der zu ihrer Vollendung und zum Beginn der Wirkung führt. — Schildern wir die Erwärmung des stromdurchflossenen Leitungsdrahtes mit den Ausdrücken der energetischen Betrachtung, so hätten wir etwa zu sagen: die elektrische Energie wandelt sich fortwährend in Wärmeenergie um. Dabei muß die elektrische Energie in dem Moment verschwinden, in dem die durch sie produzierte Wärmeenergie auftritt, wie ein Partikelchen Eis in dem Momente verschwindet, in welchem das Wasserteilchen auftritt, in das es sich umwandelt. Die Wärmeenergie ist nach der elektrischen Energie da, die in erstere überging. Da aber die Stromquelle immer wieder neue elektrische Energie liefert, fällt

das Verschwinden derselben nicht in die Augen. Wir beachten den dauernd konstanten Strom, der gleichzeitig mit der entstehenden Wärmeenergie da ist; so übersehen wir die Aufeinanderfolge von elektrischer und Wärmeenergie. Sie fällt uns auf, wenn wir bemerken, wie der Draht noch heiß ist, nachdem der Strom ausgesetzt hat. — Auch wenn man den gleichen Vorgang im Sinne der Elektronentheorie und der mechanischen Wärmetheorie interpretiert, kann von einer Sukzession die Rede sein. Der Strom besteht dann darin, daß negative Elektronen zwischen den Molekülen des Leiters sich vorwiegend und ungefähr in gleicher Richtung fortbewegen. Diese Bewegungen relativ freier Elektronen rufen molekulare Bewegungen, also Wärme hervor. Dabei werden die molekularen Bewegungen die sie verursachenden gerichteten Elektronenbewegungen überdauern. —

Alle hypothetischen Auffassungen aber lassen die Berechtigung bestehen, von Gleichzeitigkeit von Ursache und Wirkung zu sprechen, insofern als die Wirkung mit der Vollständigkeit der Ursache gleichzeitig da ist. Wenn die vollständige Ursache beharrt, liegt besonderer Anlaß vor, ihre Gleichzeitigkeit mit der Wirkung zu beachten.

Formulierung des Kausalprinzips.

Wir können mit Rücksicht auf das in diesem Abschnitt Dargelegte das Kausalprinzip formulieren: Zu allem in der Zeit Entstandenen gibt es eine Ursache, d. h. ein Etwas, mit dessen Vollendung das erstere immer eintritt.

Zur Rechtfertigung des Kausalprinzips. Nach dem Vorhergehenden ist zur Rechtfertigung des Kausalprinzips nicht viel nachzutragen. Wir haben mehrere Beweisversuche gestreift; sie alle erschienen indessen unbefriedigend. Wenn wir die Stellung des Kausalprinzips zur Regelmäßigkeits- bzw. Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung im Auge behalten, so werden wir die Unbeweisbarkeit des Kausalprinzips erwarten müssen. Das Kausalprinzip behauptet, daß bei allem Entstehen (bzw. aller Veränderung, die ja auch immer etwas Neues bringt) das Entstandene mit einem anderen, einer Ursache nach unverbrüchlicher Regel verbunden ist; es behauptet, daß diese ausnahmslose Regel, dies Gesetz auch über die Grenzen unserer Erfahrung hinaus gilt. Darin steckt die unbeweisbare Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Im Kausalprinzip steckt die unbeweisbare Regelmäßigkeitsvoraussetzung.

Wenn gleich „*natural disposition*" das Kausalprinzip als etwas Selbstverständliches erscheinen läßt (— allerdings gilt das eher von anderen, landläufigen Kausalauffassungen als von unserer Formulierung des Prinzips —), so kann dasselbe doch nicht als unmittelbar evident, überhaupt nicht als denknotwendig im logischen Sinne gelten. Es liegt keinerlei Denkunmöglichkeit vor, die mich z. B. zu denken verhinderte, daß ich nach 10 Sekunden eine ursachlose Empfindung erleben werde, daß also etwas entstehen wird ohne ein unmittelbar Vorhergehendes, mit dessen Vollendung es immer aufträte; ein Widerspruch ist in diesem Gedanken nicht zu finden. Im Begriff des Wirklichen kann es nicht liegen, daß jedes Wirkliche eine Ursache haben müsse; denn eine sicher erlebte Empfindung müßte ich als wirklich anerkennen, auch wenn sie keine Ursache hätte.

Das Kausalprinzip ist nicht unmittelbar evident, noch überhaupt denknotwendig.

Das Kausalprinzip kann keine reine Konvention sein; dagegen sprechen

bei Erörterung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung ausführlich dargelegte Gründe. Wir erinnern nur daran, daß man auf Grund einer Konvention, einer bloßen Festsetzung, nicht prophezeien kann; nun dienen uns aber Kausalschlüsse und das sie ermöglichende Kausalprinzip immerfort dazu, Zukünftiges vorauszubestimmen. Weil aber das Kausalprinzip strenge Regelmäßigkeit, Gesetzmäßigkeit fordert, ist die bei der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung dargelegte Möglichkeit einer gemäßigten Konventionslehre auch in bezug auf das Kausalprinzip nicht von der Hand zu weisen. Die Möglichkeit ist nicht radikal abzulehnen, daß die Wirklichkeit dem Kausalprinzip nur einigermaßen, mit weitgehender Annäherung, entspricht, und daß wir durch unsere Erkenntnisarbeit, in unserer Wissenschaft, ein Bild der Wirklichkeit schaffen, welches diese im Sinne strenger Kausalgesetzlichkeit idealisiert — wie der Klassizismus in der bildenden Kunst die Natur zugunsten gesetzlicher Strenge idealisiert.

Wir mußten fernerhin die mit der radikalen Konventionslehre sich berührende Auffassung ablehnen, welche die Regelmäßigkeitsvoraussetzung begründen will, indem sie die Regelmäßigkeit im realen Geschehen (und ev. das reale Geschehen selbst) als ein Produkt des Verstandes ansieht. Gilt dies von der Regelmäßigkeit schlechthin, so wird es auch von der Kausalgesetzlichkeit gelten. Wir brauchen daher auf die entsprechenden Begründungsversuche für das Kausalprinzip, auf die einschlägigen Kant-Schopenhauerschen Lehren, an diesem Orte nicht einzugehen. —

Wenn alle Versuche mißglücken, das Kausalprinzip durch unmittelbare Evidenz oder durch einen rationalen, logisch denknotwendigen Beweis zu sichern, so bleibt anzuführen, was zur erkenntnistheoretischen Rechtfertigung dieser Voraussetzung gesagt werden kann. Zunächst erfüllt das Kausalprinzip wie die allgemeine Regelmäßigkeitsvoraussetzung die unerläßliche Bedingung, innerlich widerspruchsfrei zu sein und auch eine widerspruchsfreie Anwendung auf das erlebte Wirkliche und Verbindung mit der Erinnerungsvoraussetzung zuzulassen. Das Prinzip schmiegt sich der bisherigen Erfahrung gut an, ist durch dieselbe oftmals bestätigt worden. Natürlich kann von einem strengen Erfahrungsbeweise keine Rede sein, wie sich nach dem über die Regelmäßigkeits- und Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung Gesagten von selbst ergibt. Der Erfahrungsbeweis müßte ein induktiver sein, also die Regelmäßigkeitsvoraussetzung schon zugrunde legen.

Das Kausalprinzip schmiegt sich der Erfahrung gut an.

Ein induktiver Beweis des Kausalprinzips mag immerhin bei den Rechtfertigungsbemühungen Beachtung verdienen; man kann allerdings vielleicht sagen, das Prinzip sei auch ohne solchen in der Weise zu rechtfertigen wie die Regelmäßigkeitsvoraussetzung oder richtiger wie die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung, auf welcher der induktive Beweis fußt. Dieser müßte davon ausgehen, daß wir oft erfahren, wie mit der Vollendung desselben Vorganges stets dieselbe Veränderung, dasselbe Neue eintritt; ferner davon, wie immer wieder solche Vorgänge (d. h. Ursachen) auch dort sich bei gründlichem Suchen finden, wo sie zunächst nicht sichtbar waren. Auf Grund der Regelmäßigkeitsvoraussetzung bzw. Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung wäre dann zu verallgemeinern,

Über den induktiven Beweis des Kausalsatzes.

wäre induktiv zu schließen, daß für alles Entstandene sich Ursachen finden, und daß in allen Fällen mit deren wiederholter Vollendung die Wirkung wieder eintritt.

Man pflegt häufig gegen den induktiven Beweis des Kausalprinzips einzuwenden, er stelle einen Zirkel dar, da Induktionsschlüsse schon das Kausalprinzip voraussetzen. Das ist nicht ganz richtig, da der vorliegende Induktionsschluß nicht speziell das Kausalprinzip, sondern die allgemeinere Regelmäßigkeitsvoraussetzung bzw. Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung als Basis fordert.

Ein zweiter Einwand besagt, der empirisch-induktive Beweis gebe als solcher dem Kausalprinzip nur wahrscheinliche Geltung, nicht aber die strenge, absolute Gültigkeit, die die Realwissenschaften, z. B. die Physik, für dasselbe fordern. Der Empirist kann darauf erwidern, dann müßten die Realwissenschaften sich eben mit einem bloß wahrscheinlichen Kausalprinzip zufrieden geben. Sie können mit einem solchen schließlich auskommen, da allgemein anerkannt wird, daß den auf das Kausalprinzip bauenden Schlüssen, die über die Erfahrung hinaus, z. B. in die Zukunft führen, jedenfalls nur Wahrscheinlichkeit zukomme; wenigstens im Prinzip, praktisch kann sehr hohe Wahrscheinlichkeit oft als Gewißheit gelten.

Die Ansicht, durch die Erfahrung könne das Kausalprinzip („bloß") als wahrscheinlich dargetan werden, ist übrigens nur richtig, wenn die Regelmäßigkeitsvoraussetzung schon angenommen ist. Diese kann aber überhaupt nicht aus der Erfahrung bewiesen werden; auch von einem „bloß wahrscheinlichen", empirisch-induktiven, zirkelfreien Beweise derselben kann nicht die Rede sein (vgl. S. 89f.). Also ist zuletzt (d. h. ohne Hinzunahme einer nicht empirisch beweisbaren Voraussetzung) das Kausalprinzip in keiner Weise durch Erfahrung zu beweisen; auch ein Wahrscheinlichkeitsbeweis ist schlechthin unmöglich. Das ist fast selbstverständlich. Das Kausalprinzip spricht ja auch von nicht erfahrenen Realitäten; es soll z. B. fürs Zukünftige gelten. Ohne Hilfe von Voraussetzungen kann aber die Erfahrung nur über das Erfahrene, nicht über das Nicht-Erfahrene belehren.

Ein voraussetzungsloser empirischer Beweis des Kausalprinzips ist also schlechthin unmöglich. Dies hindert nicht, daß die Erfahrung, die Bewährung und Bestätigung unser Vertrauen auf das Kausalprinzip tatsächlich bis zu voller Zuversicht steigern. Jeder Naturforscher, dem erkenntnistheoretische Reflexion fern liegt, wird Zweifel am Kausalprinzip mit dem Hinweis auf Erfahrung und Bestätigung beantworten. Indessen beweisen diese in bezug auf das (Noch-) Nicht-Erfahrene und -Bestätigte nur dann etwas, wenn die Regelmäßigkeitsvoraussetzung bereits angenommen ist. —

Während die Regelmäßigkeitsvoraussetzung lebensnotwendig ist, gilt dies von der Annahme strenger Kausalgesetzlichkeit nicht im eigentlichen Sinne. Wir können unser Leben einrichten, für die Zukunft sorgen, auch wenn es kein völlig ausnahmsloses und absolut exaktes Kausalgesetz gibt, falls nur der Gang der Welt mit hinreichender Zuverlässigkeit und Annäherung ein gleichförmiger ist.

Ist das Kausalprinzip erkenntnisnotwendig?

Was nun die Frage der Erkenntnisnotwendigkeit anbelangt, so ist anzuerkennen, daß in den Realwissenschaften, insbesondere in den exakten Naturwissenschaften etwa, auf absolute Gültigkeit des Kausalprinzips gebaut wird. Wir können uns also darauf berufen, daß das Kausalprinzip tatsächlich eine sich bewährende Voraussetzung sich entfaltender und blühender Wissensgebiete darstellt. Das ist für die Rechtfertigung gewiß sehr bedeutsam. Indessen sind bezüglich der Kausalgesetzlichkeit die Einschränkungen zu wiederholen, die zu machen waren, als wir die Regelmäßigkeitsvoraussetzung in die radikalere Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung überführten. Auch wenn das Kausalprinzip nicht absolut, sondern nur mit hinreichender Zuverlässigkeit und Genauigkeit Geltung hätte, behielten unsere auf ihm fußenden Realwissenschaften ihren Wert. Ferner ist es weder denk- noch erkenntnisnotwendig, daß alles Entstandene durch das *ohne Zeitabstand* Vorhergehende völlig bestimmt sein müsse. Auch davon war bereits die Rede.

Der gesunde Menschenverstand und das Kausalprinzip.

Schließlich braucht hier nur daran erinnert zu werden, wie die Rechtfertigung durch Erkenntnis- und Wissenschaftsnotwendigkeit auf den natürlichen Glauben des gesunden Menschenverstandes zurückführt. An sich wären von anderen Voraussetzungen aus andere Gedankensysteme neben demjenigen möglich, das wir in unserer Realitätserkenntnis vor uns haben, Systeme, die gleichfalls auf die Anerkennung des gegenwärtig-unmittelbar-sicher-Gegebenen sich aufbauen könnten; aber der gesunde Menschenverstand gibt unserer Realitätserkenntnis einen unaufhebbaren Vorzug und entzieht sie und ihre logischen Voraussetzungen der Willkür. Damit kommen wir darauf zurück, daß ein natürlicher Glaube für das Kausalprinzip eintritt, allerdings ohne speziell unsere Formulierung zu fordern. Der gesunde Menschenverstand läßt uns zwar überall nach Ursachen forschen. Er sagt aber wohl kaum mit Entschiedenheit, daß dieselben Ursachen immer absolut genau dieselben Wirkungen hervorrufen. Er könnte sich wohl damit abfinden, wenn das Wirken, speziell etwa das unseres wollenden Ich, nicht überall an absolut strenge Regelmäßigkeit gebunden wäre.

Ergebnis.

Immerhin wird der Erkenntnistheoretiker nichts einzuwenden haben, wenn der Realwissenschaftler mit der einfachen, radikalen Annahme des Kausalprinzips arbeitet, die der oft erwähnten Neigung unseres Geistes zum Einfachen und Absoluten entgegenkommt. Nur bleibt zu bedenken, daß die Annahme *eine unter vielen* anderen möglichen darstellt, daß vielleicht die Wirklichkeit ihr nicht völlig entspricht. Doch auch bezüglich dieses Punktes können wir auf Früheres, bei der Besprechung der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung Gesagtes, zurückverweisen.

Wir nennen den Kausalsatz ein Prinzip, ein Grundgesetz, um anzudeuten, daß er zu den obersten, grundlegenden Voraussetzungen gehört.

Zur Psychogenese der Kausalauffassungen. Von der Berechtigungsfrage ist die Frags nach der Herkunft, nach der Entstehung des Kausalbegriffs und -prinzips wohl zu unterscheiden. Da die letztere aber nach unserer Auffassung nicht eigentlich eine erkenntnistheoretische Aufgabe darbietet,

dürfen wir uns bei ihrer Behandlung ganz kurz fassen, zumal wir auch hier auf Vorhergehendes uns berufen können.

Die psychogenetische Frage lautet: wie führt die seelische Entwicklung des Einzelnen oder der Menschheit zu unserem Begriff und Prinzip der Kausalität?

Die Psychogenese der einzelnen Kausal-auffassungen ist eine verschiedene.

Wie wir gesehen haben, gibt es nicht einen, sondern viele Kausalbegriffe, und deren Psychogenese ist offenbar eine verschiedene. Die Erfahrung spielt dabei eine wechselnde Rolle. Wenn die zunächst im eigenen Handeln erfahrene, erlebte Tätigkeit auf das gesamte Wirklichkeitsgeschehen übertragen wird, so erscheint alles Wirken als Tätigkeit der Dinge, durch die die Wirkungen entstehen. Andere Erfahrungen werden maßgebend, wenn das Wirken als ein Aus-sich-Hervorbringen aufgefaßt wird; man hat etwa gesehen, wie das Samenkorn den Keimling oder die Wolke den Regen aus sich hervortreten läßt, und erhält durch Verallgemeinerung die entsprechende Kausalauffassung. Hier liegt auch die psychologisch-historische Wurzel der Ansicht, daß die Wirkung mit der Ursache (oder dem entscheidenden Teil der letzteren) identisch sei; wir haben dargelegt, wie die kinetische Naturauffassung und die Erhaltungssätze der Naturwissenschaft dieselbe Meinung bestärken und ausprägen. Aus ihr erwächst dann einer von den früher bereits skizzierten Entstehungsgründen zu Kausalauffassungen, die das Verhältnis des Ursache-Wirkungszusammenhanges zum logischen Grund-Folgezusammenhange unrichtig fassen. Weil wir auf die Frage nach dem „Warum", die aus dem Bedürfnis unseres Geistes nach logischer Begründung entspringt, oft mit der Nennung einer Ursache antworten, werden leicht logische Begründung und reale Verursachung sowie die Forderung der einen und der anderen vermengt. Diese Verwechslung oder Unklarheit bringt es mit sich, daß eine Notwendigkeit, wie sie dem logischen Grund-Folgezusammenhang eigen ist, auch in den Kausalzusammenhang hineingelegt wird. Auch für die Entstehung dieser Auffassung sind noch andere Denkmotive verantwortlich zu machen. Wir wollen eines derselben wegen seiner historischen Bedeutsamkeit noch erwähnen. Hume erklärte die Entstehung der Ansicht, daß Ursache und Wirkung notwendig zusammenhängen, ungefähr in folgender Weise. Überall, wo es sich um Ursache-Wirkungszusammenhänge handelt, zeigt uns die Erfahrung nur regelmäßige Aufeinanderfolge. Das wiederholte Erleben der gleichen Sukzession bringt es aber mit sich, daß in uns die Vorstellung der Ursache die der Wirkung erweckt; es entsteht ein gewohnheitsmäßiger Zwang, der uns von der Vorstellung der Ursache zu der der Wirkung treibt. Dieser Zwang, diese verspürte subjektive Nötigung verlegen wir nun in den objektiven Zusammenhang von Ursache und Wirkung, und so entsteht die Meinung, daß letzterer notwendig sei, daß die Wirkung notwendig auf die Ursache folge. — Es ist nicht auszuschließen, daß hiermit etwas Richtiges getroffen ist; indessen scheinen mir oben dargelegte Beziehungen zum Grund-Folgezusammenhang mit den aus ihnen entspringenden Verwechslungen und Unklarheiten von größerer Bedeutung bei der Genese der Auffassung gewesen zu sein, daß Ursache und Wirkung notwendig zusammenhängen. Auch kam wohl die allgemein

menschliche Neigung in Betracht, alles in der Welt nach Analogie des eigenen Ich und seiner Erlebnisse zu interpretieren.

Insofern als bei der Genese der Kausalauffassungen Verallgemeinerungen eine Rolle spielen, fällt die Anlage unserer seelischen Organisation zum Verallgemeinern, die für die Entstehung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung grundlegend ist, natürlich entscheidend neben dem Einfluß der Erfahrung ins Gewicht. Auf die Bedeutung der in unserer geistigen Organisation liegenden Tendenz zum Einfachen, Radikalen, Absoluten für die Entstehung und Durchbildung von Kausalauffassungen wurde schon hingewiesen. Alle Kausalauffassungen entstehen schließlich unter dem Einfluß der Erfahrung auf Grund unserer seelischen Organisation. Nur kommen für verschiedene Auffassungen zum Teil verschiedene Erfahrungen in Betracht.

Betrachten wir speziell die Kausalauffassung, zu welcher unsere Überlegungen hingeführt haben, so ist für ihre Ausbildung vor allem die Reflexion auf die tatsächliche Anwendung des Kausalbegriffs in Wissenschaft und Erfahrung von Einfluß gewesen. Es wurde überlegt, wo wir in der Wissenschaft tatsächlich von Ursachen sprechen, was in der Erfahrung in diesen Fällen vorliegt. So ergibt sich, daß Ursachen zum Entstandenen, zur Veränderung gehören, daß sie einen wirklichen Zeitinhalt darstellen, mit dessen Vollendung die Wirkung eintritt. In der Annahme, daß alles Entstandene, jede Veränderung eine Ursache hat, und daß dieselben Ursachen immer dieselben Wirkungen mit sich bringen, tritt die Regelmäßigkeitsvoraussetzung zutage. Entstehungsgründe für die letztere wären hier wiederum zu nennen; sie liegen sowohl in der Erfahrung wie in unserer seelischen Organisation. Doch können wir auf eine erneute Darlegung derselben verzichten, indem wir auf das bezüglich der Psychogenese der Regelmäßigkeitsvoraussetzung Gesagte zurückverweisen.

Modifikation des Kausalprinzipes zum Zwecke der Anwendung. Unvollständige und angenäherte Wiederholung der Ursachen. Wir müssen noch einmal unsere Fassung des Kausalprinzips einer Umformung unterwerfen, damit es anwendbar werde.

Unsere Formulierung sagt nichts darüber, welcher Art jenes Etwas sein müsse, mit dessen Vollendung immer dasselbe Neue, die gleiche Veränderung eintritt. Die Erfahrung aber zeigt sofort, daß dieses vollständige Etwas, die Gesamtursache, ungemein zusammengesetzt sein kann. Für die Erwärmung eines Steines im Sonnenschein ist z. B. schon eine Fülle von Umständen bestimmend, wie Intensität und Richtung der Strahlen, Absorptionsvermögen der beschienenen Fläche, Temperatur und Bewegungszustand der Luft usw. Oder nehmen wir ein weiteres, verhältnismäßig einfaches Beispiel! Wir sind im Vertrauen auf das Newtonsche Gesetz der Massenanziehung überzeugt, daß die Bewegung eines Staubteilchens im Weltenraume von allen kosmischen Massen beeinflußt wird; ebenso wirken dabei alle die nahen und fernen Lichtquellen, die dem Staubteilchen ihre Strahlen zusenden, vermöge des Strahlungsdruckes mit; andere z. B. elektrische oder auch magnetische Einwirkungen können hinzukommen.

Zusammengesetzte Gesamtursachen.

Solche Betrachtungen weisen auf unbegrenzt zusammengesetzte und ausgedehnte Gesamtursachen hin. Wir können aber nicht alle die Teilfaktoren berücksichtigen, die zu der Gesamtursache eines Entstandenen gehören mögen. Die Komplikation und Ausdehnung der Gesamtursachen scheint für die Verwendbarkeit des Kausalprinzips verhängnisvoll zu sein. Sie zwingt uns in der Tat, Teilfaktoren der Gesamtursache zu vernachlässigen. Die Mondbewegung steht unter dem Einfluß aller Gestirne, die die Astronomie feststellen mag; aber niemals wird die Gesamtursache in Rechnung gesetzt werden können. Letztere würde sonst schlechthin unübersehbar — macht doch schon die Berücksichtigung der wichtigsten Faktoren bei der Betrachtung der Mondbahn genug Schwierigkeiten.

Vernachlässigung von Teilfaktoren.

Es ist keineswegs selbstverständlich, daß zur angenäherten Bestimmung der Wirkung die Berücksichtigung eines („wichtigsten“) Teiles der Gesamtursache genügt; vielmehr handelt es sich um eine Voraussetzung, die durch die Erfahrung nahegelegt und bestätigt wird, die aber doch in dem allgemeinen Gebrauche, welchen wir von ihr machen, niemals streng erwiesen werden kann. Die Erfahrung zeigt, daß vielfach die Berücksichtigung der wichtigsten Faktoren der Gesamtursache eine Annäherung bei der Bestimmung der Wirkung erlaubt, die praktisch völliger Genauigkeit gleichwertig ist. Das gilt etwa für manche berechenbaren Wirkungen in den exakten Naturwissenschaften, in Astronomie und Physik, und in den exaktesten Gebieten der technischen Wissenschaften. Es ist aber daran festzuhalten, daß selbst für eine so einfache Wirkung, wie die Ablenkung einer Galvanometernadel, niemals die Gesamtursache absolut exakt festgestellt und in Rechnung gesetzt werden kann.

Einer der Umstände, welche es ermöglichen, den vollständigen Ursachen partielle mit hinreichender Genauigkeit zu substituieren, ist darin zu erblicken, daß der Einfluß von Teilfaktoren mit der räumlichen Entfernung abnimmt und schließlich für unsere Beobachtung verschwindet, so daß er vernachlässigt werden kann.

Wiederholen sich Gesamtursachen jemals mit absoluter Genauigkeit?

Wir wissen überhaupt nicht, ob eine Gesamtursache jemals mit absoluter Genauigkeit sich wiederholt. Die Welt ist, wie Mach sich ausdrückt, nur einmal da — wenigstens soweit wir wissen; denn der Gedanke einer Wiederkehr des ganzen Weltlaufes ist zwar seit seinem Auftauchen in der griechischen Philosophie mehrfach ausgesprochen, aber niemals hinreichend begründet worden. Wir haben keinen Grund für die Annahme, daß z. B. die Konstellation der gesamten Sternenmaterie, die in diesem Augenblicke die Bewegung der Erde bestimmt, sich jemals genau wiederholt.

Diese Überlegung wirft ein ungünstiges Licht auf den Wert des Satzes, daß dieselbe Ursache immer dieselbe Wirkung hervorbringt. Wir mögen auf dem Experimentiertisch die Anordnung, die eine bestimmte Wirkung mit sich brachte, noch so genau zu rekonstruieren bemüht sein, absolute Vollständigkeit und Genauigkeit der Wiederholung der Ursache bleibt unmöglich. Wenn wir also unter der Ursache eines Wirklichen ein Etwas verstehen, das bei wiederholtem Auftreten immer wieder dasselbe Wirkliche mit sich bringt, und wenn

wir nur absolut vollständige und genaue Wiederkehr als Wiederholung bezeichnen, so können wir nicht wissen, ob es überhaupt Ursachen in der Welt gibt. Das Kausalprinzip darf also nicht streng wörtlich genommen werden, sonst verliert es seine Anwendbarkeit.

Allerdings zersetzt der elektrische Strom immer wieder das Salz der Lösung, durch welche er fließt; aber der gleiche Strom und die gleiche Konzentration der Salzlösung usw. wiederholen sich niemals genau; es handelt sich nur um angenäherte Wiederholung, und wie die Ursache, so wiederholt sich auch die Wirkung, die Zersetzung nicht mit absoluter Genauigkeit. Es ist also nicht eigentlich das Kausalprinzip in der bisher angegebenen Formulierung, welches Anwendung findet. Wir müssen eine Modifikation vornehmen, indem wir etwa sagen: *Alles Entstandene hat eine Ursache, mit deren Vollendung es eintritt. Ursache ist ein Wirkliches, bei dessen hinreichend vollständiger bzw. angenäherter Wiederholung auch das Entstandene, die Wirkung, sich angenähert wiederholt. Je genauer die Ursache sich wiederholt, um so genauer kehrt auch die Wirkung wieder.*

Modifizierte Formulierung des Kausalprinzips.

In der Tat schließen wir fortwährend aus der angenäherten Wiederholung, der Ähnlichkeit der Ursache auf die angenäherte Wiederholung, die Ähnlichkeit der Wirkung. Die Bezeichnungen Annäherung und Ähnlichkeit sind nun sehr dehnbar, und daraus ergeben sich Enttäuschungen bei derartigen Schlüssen. Sehr häufig stellt ein Vorgang eine fast vollständige Wiederholung eines andern dar, und doch kehrt die Wirkung des letzteren nicht wieder; z. B. bringt ein chirurgischer Eingriff dem einen Patienten Genesung, dem anderen nicht, obwohl die Sachlage im wesentlichen die gleiche zu sein schien. Auf solche Möglichkeiten ist in der soeben gegebenen Formulierung Rücksicht genommen, indem von einer *hinreichend* vollständigen und angenäherten Wiederholung gesprochen wurde.

Das Zusammenwirken von Teilfaktoren. Superposition der Wirkungen. Sofern es erlaubt ist, gewisse Teilfaktoren der Gesamtursache zu vernachlässigen oder auf Grund der Ähnlichkeit zwischen einer bekannten und einer unbekannten Ursache auf die Wirkung der letzteren zu schließen, wird es möglich, in etwa vorauszusehen, wie ein noch nicht beim Wirken Beobachtetes wirken wird. Es gelingt, Wirkungen von etwas Neuem, bisher nicht in genau gleicher Form Dagewesenem, zu prophezeien.

Zur Bestimmung der Wirkung neuer Gesamtursachen bedienen wir uns ferner oft des Kunstgriffes, letztere in Teilfaktoren zu zerlegen, für welche wir die Wirkungen kennen, die sie entfalten, falls sie einzeln bzw. isoliert zur Geltung kommen. Wir erhalten oft die Wirkung der Gesamtursache einfach durch Zusammennehmen der Teilwirkungen, die jeder der Faktoren zustande bringen würde, falls er allein am Werke wäre. So können wir die Wärmeproduktion eines Gasofens mit 50 Flammen durch Zusammennehmen der Wärmeleistungen der einzelnen Flammen erhalten.

Einfache Addition von Teilwirkungen.

Die einfache Addition der Wirkungen spielt in der Wissenschaft (z. B. in der Physik, der Meteorologie, der Geologie, aber auch der Psychologie usw.)

und im Erkennen und Erwägen des täglichen Lebens eine große Rolle. Man könnte auf den Gedanken kommen, sie müsse überall zur Bestimmung des Effekts einer aus Teilfaktoren bestehenden Gesamtursache dienen können. Da nämlich jeder Teilfaktor immer dieselbe Wirkung hervorbringe, müßten die zu einer Gesamtursache vereinigten Teilfaktoren als Gesamtwirkung einfach die Gesamtheit ihrer Teilwirkungen produzieren; die Gesamtwirkung ergebe sich somit stets als Zusammenfassung der Teilwirkungen. Diese Überlegung führt indessen zu einem falschen Ergebnis, wie zunächst die Erfahrung zeigt: wenn sechs Pferde eben imstande sind, eine Last fortzuziehen, so ist die Wirkung ihrer Anstrengung nicht die Zusammenfassung der Wirkungen, die die einzelnen Pferde zu leisten vermöchten, falls sie isoliert an der Last zögen; das Resultat wäre dann vielleicht gleich Null. Darin liegt kein Widerspruch gegen das Kausalgesetz; denn die Gesamtursache zu der Wirkung eines isolierten Teilfaktors ist eben nicht durch diesen allein angegeben; es gehören die mitbestimmenden Bedingungen hinzu, unter denen er als „isolierter" wirkt. Beim Zusammenwirken liegen andere Begleitumstände vor, die als mitbestimmende Bedingungen den anderen Effekt erklärlich machen.

Die Erfahrung lehrt uns, wann die Wirkung einer Gesamtursache einfach durch Zusammenfassen der Wirkungen der isolierten Teilfaktoren sich ergibt. Sie zeigt aber auch, wie in Fällen zu verfahren ist, in denen kein einfaches Zusammennehmen der Teilfaktoren am Platze oder überhaupt möglich ist. Man spricht häufig von einer „Superposition", die kein einfaches Zusammennehmen der Wirkungen (z. B. Bewegungseffekte) darstellt, aber einem solchen doch recht nahe steht. Wenn die Wirkung eines Teilfaktors in einer Vorwärtsbewegung, die eines anderen in einer Rückwärtsbewegung eines Körpers bestehen würde, so können diese Wirkungen nicht im wörtlichen Sinne zusammengenommen werden, da ein Körper nicht zugleich sich vorwärts und rückwärts bewegen kann. Die „Zusammenfassung" geschieht hier durch „geometrische Addition", durch Subtraktion der entgegenstehenden Effekte oder allgemeiner auf Grund des Bewegungsparallelogramms.

Geometrische Addition von Teilwirkungen.

Neuartige Wirkungen kombinierter Teilfaktoren.

In anderen Fällen zeigt die Erfahrung, daß auch diese immer noch recht einfache Superposition nicht statthat, daß vielmehr neuartige Wirkungen der Gesamtursache auftreten, die sich nicht derart aus den Wirkungen der isolierten Teilfaktoren zusammensetzen. So übt nach der Auffassung der chemischen Atom- und Molekulartheorie das Molekül Wirkungen aus, die von denjenigen der Atome, in die es zerlegbar ist, ganz verschieden sein können.

Die Erfahrung muß also lehren, ob bei Zerlegung einer Gesamtursache in Teilfaktoren die Wirkung durch Zusammenfassung und Superposition der Teileffekte bestimmt werden kann, oder ob andere, weniger einfache Gesetze zu berücksichtigen sind.

Die Wirkung als Funktion der Ursache. Stetigkeitsvoraussetzung. Immer aber hängt die Wirkung von den Teilfaktoren der Ursache ab, und zwar nicht nur von den isolierbaren, die selbständig auftreten und wirken können, sondern auch von unselbständigen Bestimmungsstücken der Gesamt-

ursache. Die Wirkung eines Klanges ist einmal durch die isolierbaren Teiltöne, welche ihn aufbauen, bedingt, anderseits aber auch durch die Intensitäten der Partialtöne, die unselbständige Bestimmungsstücke darstellen.

Damit die Wirkung eine andere werde, muß die Ursache sich ändern; denn dieselbe Ursache würde immer dieselbe Wirkung mit sich bringen. Natürlich braucht nicht die Gesamtursache eine völlig andere zu werden; es kann Änderung eines Teiles, eines Bestimmungsstückes (z. B. der Intensität) der Ursache genügen. Wenn also unmittelbar vor der Änderung einer Wirkung ein anderes Etwas sich ändert, so liegt der Gedanke nahe, daß dies Etwas zur Ursache gehört; tritt immer wieder mit der Änderung dieses Etwas die Wirkungsänderung ein, so kann die Vermutung sich mehr und mehr der Gewißheit nähern. — Hierauf gründet sich eine wichtige Methode zur Bestimmung von Kausalzusammenhängen.

Wir können die Abhängigkeit der Wirkung von der Ursache zum Ausdruck bringen, indem wir die Bezeichnung Funktion etwa im Sinne der Mathematik verwenden. Man kann dann sagen: die Wirkung ist eine eindeutige Funktion der Ursache. Das heißt einfach: die Wirkung hängt von der Ursache und ihren Änderungen ab, und zwar so, daß zu einer ganz bestimmten Ursache eine einzige, ganz bestimmte Wirkung gehört. Indem wir das Wort ,,eindeutig" einfügen, entsprechen wir also dem Satz, daß dieselbe Ursache immer dieselbe Wirkung hervorruft.

Die Wirkung ist eine eindeutige Funktion der Ursache.

Auch die einfachste Ursache ist in mehrfacher Hinsicht veränderlich. Der einfache Ton kann seine Intensität und seine Höhe ändern. Er hat also schon Mehreres an sich, das veränderlich ist, besitzt mehrere ,,Variabeln", um in der Sprache der Mathematik zu reden. Somit ist jede Wirkung eine eindeutige Funktion mehrerer Variabeln; sie ist eine eindeutige Funktion veränderlicher Bestimmungsstücke der Gesamtursache.

Wir können nun ferner in der Sprache der Mathematik zum Ausdruck bringen, daß bei hinreichender Annäherung an eine frühere Ursache wir auch der früheren Wirkung nahe (und zwar beliebig nahe) kommen können: die Wirkung ist als stetige Funktion der Ursache zu bezeichnen. Die Behauptung, daß das Weltgeschehen von Stetigkeit beherrscht sei, wird in dem alten Satz: *natura non facit saltus*, ausgedrückt. Wir wollen hier nicht erörtern, ob dies ausnahmslos gilt, ob scheinbar sprungweise Veränderungen (z. B. des Aggregatzustandes — man denke an Verwandlung des Eises in Wasser) bei genauerem Zusehen sich doch als kontinuierliche erweisen könnten. Jedenfalls operieren wir bei unseren Kausalschlüssen fortwährend mit der Annahme, daß die Wirkung sich stetig mit der Ursache ändert. Nicht nur bei mathematischen Fassungen der Abhängigkeit von Ursache und Wirkung setzen wir dies voraus. Auch das Schließen von (hinreichend) ähnlichen Ursachen auf ähnliche Wirkungen können wir auf die Stetigkeitsvoraussetzung gründen. Da aber absolut genaue Wiederkehr einer Ursache niemals verbürgt werden kann, leuchtet die Wichtigkeit der Voraussetzung sofort ein.

Die Wirkung als stetige Funktion der Ursache.

Auch die Stetigkeitsannahme schmiegt sich der Erfahrung an, wird durch

sie nahegelegt, aber keineswegs in dem Umfange erwiesen, in dem wir sie anwenden. Doch wollen wir darauf nicht näher eingehen.

Stetigkeits- und Regelmäßigkeitsvoraussetzung dienen uns nun weiterhin in folgender Weise, die Wirkungen von veränderten Ursachen zu bestimmen. Wir sehen z. B., daß ein elektrischer Strom seinen Leitungsdraht mehr und mehr erwärmt, wenn er stärker und stärker wird. Wir schließen dann, daß die so gefundene Regel: die Erwärmung wächst mit der Stromstärke, auch weiter gilt, wenn es sich um nicht beobachtete, z. B. sehr hohe Stromstärken handelt. Das ist ein grobes Beispiel für eine sogenannte Extrapolation. Es wird die Wirkung einer Ursache erschlossen, die außerhalb des Gebietes liegt, in welchem der Ursache-Wirkungszusammenhang durch Beobachtung festgelegt wurde. — Zeigt die Erfahrung, daß die Schwingungszeit eines Pendels größer wird, wenn wir seine Länge um $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ vergrößern, so sind wir sehr geneigt zu der Annahme, daß auch bei Verlängerung um $^1/_3$ eine Vergrößerung der Schwingungszeit stattfindet, und daß diese Vergrößerung zwischen den Werten liegt, die sich bei Verlängerung um $^1/_4$ und $^1/_2$ ergeben. Mit dieser Annahme vollziehen wir eine Interpolation; es handelt sich um einen Schluß auf Fälle, die zwischen den beobachteten liegen.

Extrapolation und Interpolation.

Wir setzen bei solchen Inter- und Extrapolationen voraus, daß die Wirkung sich allmählich ändert, wenn die Ursache sich allmählich ändert, daß die Wirkung eine stetige Funktion der Ursache ist. Auch hierin liegt eine Art Regelmäßigkeitsvoraussetzung: wir nehmen an, daß eine Regel (z. B. Steigen der Erwärmung des Leitungsdrahtes mit der Stromstärke) auch für die Fälle gilt, für welche wir sie nicht durch Beobachtung festgelegt haben. Das Eigentümliche liegt aber darin, daß es sich um neue, den früheren nicht gleiche, wenngleich immerhin ähnliche Fälle handelt.

Umgekehrt können wir auch sagen, in der Regelmäßigkeitsvoraussetzung liege eine Stetigkeitsannahme; denn erstere fordert, daß das Geschehen ein gleichförmiges bleibt, daß Regeln erhalten bleiben und nicht sprunghaft, also unstetig sich ändern. Doch behauptet die Regelmäßigkeitsvoraussetzung natürlich etwas anderes als bloße Stetigkeit des Weltlaufes.

Daß die Stetigkeitsvoraussetzung ebenso wie andere, an sich unentbehrliche Voraussetzungen zu Irrtümern Anlaß geben kann, sei nur im Vorübergehen erwähnt. Wer aus einer beobachteten Zusammenziehung des Wassers bei Erwärmung von 0° auf 2° und von 2° auf 4° durch Extrapolation erschließen wollte, daß eine Zusammenziehung auch bei Erwärmung von 4° auf 6° sich zeigen werde, könnte durch die Beobachtung eines anderen belehrt werden. Es brauchen die Quellen falscher Extra- und Intrapolationen nicht in wirklichen Unstetigkeiten zu liegen; eine solche liegt im obigen Beispiel nicht vor. Man kann bezweifeln, ob es überhaupt Unstetigkeiten in den Kausalfunktionen gibt.

Die Bedeutung des Funktionsbegriffes für das Naturerkennen.

Ersatz des Kausalbegriffes durch den Funktionsbegriff? Die Anwendung der mathematischen Fachausdrücke, wie Funktion, Variable usw., ist keine bedeutungslose Spielerei. Für denjenigen, der mit der mathematischen Terminologie vertraut ist, ergibt jene Anwendung einen klaren Blick in die Sach-

lage, weil die Fachausdrücke so kurz und präzis festlegen, was in Frage steht, und weil sie überdies mancherlei Andeutungen geben können. Vor allen Dingen fällt aber ins Gewicht, daß wir, insbesondere in den exakten Naturwissenschaften, oft die Abhängigkeit der meßbaren Wirkung von meßbaren Bestimmungsstücken der Ursache durch bekannte mathematische Funktionen exakt ausdrücken können. Ein einfaches Beispiel gibt das Joulesche Gesetz zur Bestimmung der Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Die durch den Strom von der Stärke i in einem Drahte vom Leitungswiderstand r in der Zeiteinheit produzierte Wärme w ist dem Widerstand und dem Quadrat der Stromstärke proportional; also: $w = ki^2r$, wo k eine konstante Zahl bedeutet, die von der Wahl der zur Messung von Wärme, Stromstärke und Widerstand benutzten Einheiten abhängt. Eine solche Formel (die also in unserem Beispiel die Berechnung der Wirkung aus der Ursache und ihren Bestimmungsstücken ermöglicht) stellt eben eine mathematische Funktion dar. Die Größe der Wirkung kann hier tatsächlich durch eine Funktion ausgedrückt werden, und ein Gleiches ist bei sehr vielen Kausalzusammenhängen möglich.

Da die Physiker nicht für jede beliebige Stromstärke und jeden Widerstand die produzierte Wärme besonders bestimmen können — das wäre ja eine unendliche Aufgabe —, sondern sich auf eine endliche Anzahl von Versuchen beschränken müssen, aus denen dann auf die zwischen oder außerhalb der ausprobierten Stromstärken und Widerstandsgrößen liegenden Fälle geschlossen wird, schließt die Aufstellung einer solchen Formel oder Funktion zahllose Inter- und Extrapolationen ein. In der Tat gibt die mathematische Betrachtung und die Anwendung des Funktionsbegriffs die exaktesten und zuverlässigsten Inter- und Extrapolationen; die Mathematik kann Anweisungen liefern, wie dabei zu verfahren ist. — Für unsere Zwecke ist es belanglos, daß die obige Formel durch Rechnung aus anderen Gesetzen abgeleitet werden kann; denn in letzter Linie müssen sich die Formeln doch auf die Erfahrung stützen. Übrigens hat Joule selbst sein Gesetz direkt empirisch, durch Versuche, erwiesen.

Ein Kausalgesetz, wie es durch unsere Formel ausgedrückt wird, sagt nicht nur etwas über das Wirken einer einzigen, ganz genau bestimmten Ursache, etwa eines Stromes von genau bestimmter Stärke in einem Leitungsdraht von bestimmtem Widerstande; es legt vielmehr mit einem Schlage die Wirksamkeit unendlich vieler, verschiedener, allerdings ähnlicher und zusammengehöriger Ursachen fest; es gilt ja für alle verschiedenen Stromstärken und Widerstände. Darin liegt etwas sehr Wertvolles. Deshalb ist man bestrebt, möglichst überall die meßbaren Kausalbeziehungen durch solche Funktionen zu formulieren.

Ist der Kausalbegriff durch den Funktionsbegriff zu ersetzen?

Unter diesen Umständen liegt der Gedanke sehr nahe, daß im Fortschritt der Wissenschaft der Kausalbegriff durch den Funktionsbegriff zu ersetzen sei. Dies wird gegenwärtig vielfach im Anschluß an Mach und unter dem Einfluß empiristisch gesinnter Philosophen wie Comte gefordert. In der Tat, wo eine unvollkommenere Wissenschaft nur lehren konnte, daß der elektrische Strom als Ursache eine mit seiner Intensität steigende Erwärmung des Leitungsdrahtes

bewirkt, da bietet auf Grund ihrer Fortschritte die Physik später im Jouleschen Gesetz eine Funktion, eine Formel an, die genau sagt, wieviel Wärme produziert wird, wie Stromstärke und Widerstand in Rechnung zu setzen sind. Die Funktion scheint die provisorische Angabe über den Ursache-Wirkungszusammenhang in vorteilhaftester Weise zu ersetzen.

Ablehnende Beantwortung dieser Frage.

Indessen handelt es sich hierbei nicht um eine Elimination des Kausalbegriffes zugunsten des Funktionsbegriffes, sondern nur um eine exakte Bestimmung des Kausalzusammenhanges durch Benutzung der Funktion. Der Funktionsbegriff hat ein viel zu weites Anwendungsbereich, um den Kausalbegriff völlig ersetzen zu können. Ersterer ist auf rein mathematische Probleme, bei denen es sich ev. gar um Imaginäres handelt (wie in der Formel $y = \sqrt{-1}\,(a + x^2)$), ebenso anwendbar wie auf Kausalgesetze, die Wirklichkeitsbeziehungen festlegen. Die engere Bedeutung der Kausalformeln liegt schon darin, daß die Größen, die durch sie in funktionale, in Abhängigkeitsbeziehung gesetzt werden, eine Bedeutung als Bestimmungen der Wirklichkeit haben müssen. Im Jouleschen Gesetz für die Wärmewirkung des Stromes: $w = k\,i^2 r$, bezeichnen w, i, r nicht irgendwelche bloß gedachten, ev. gar imaginären Zahlen (wie etwa das x und y in obiger Formel), sondern wirkliche Wärmemengen, Stromstärken und Widerstandsgrößen.

Ist nun unser Kausalbegriff nichts anderes als der in provisorischer, unexakter Weise auf das Wirkliche angewandte Funktionsbegriff? Diese Frage kann nicht bejahend beantwortet werden. Zum Kausalbegriff müssen noch speziellere Merkmale gehören; denn wir können den Funktionsbegriff zur Bestimmung von Wirklichkeitsbeziehungen verwenden, die mit Ursache-Wirkungszusammenhängen nichts zu tun haben. So ist der wirkliche Rauminhalt V eines Steinwürfels gleich der dritten Potenz seiner wirklichen Kantenlänge k, oder $V = k^3$. Diese Anwendung des Funktionsbegriffes auf das Wirkliche hat mit dem Kausalbegriff nichts zu schaffen; auch wenn wir die Beziehung nur unexakt und provisorisch ausdrücken, wenn wir etwa sagen: mit der Kantenlänge wächst der Rauminhalt, stoßen wir nicht auf eine Kausalbeziehung. Im Reiche der Wirklichkeit herrschen neben den Kausalgesetzen eben noch andere Gesetze, und auch letztere können mit Hilfe des Funktionsbegriffes ausgedrückt werden. Wir brauchen nicht gerade an geometrische Beziehungen zu denken, sondern können auch Naturgesetze als Beispiele heranziehen. Die sogenannte spezifische Wärme (das spezifische Wärmeaufnahmevermögen) eines festen Elementes (z. B. Metalles) hängt zahlenmäßig ab (ist eine Funktion) vom Atomgewicht; dies durch eine einfache Funktion genauer zu formulierende Gesetz sagt unmittelbar nichts von Kausalzusammenhängen. Schließlich hängt die Blütenblattzahl bei einer Pflanze vom Aussehen der Laubblätter oder von der Zahl der Keimblätter ab; erstere ist eine Funktion (wenngleich keine eindeutige) der Blattbildung oder Keimblattzahl, und auch dabei liegt keine (direkte) Ursache-Wirkungsrelation vor.

Die Abhängigkeit zwischen Ursache und Wirkung unterscheidet sich eben von anderen Abhängigkeiten oder „funktionalen Zusammenhängen“ im Wirk-

lichen noch durch besondere Merkmale, und daran wird durch die exakte mathematische Formulierung nichts geändert. Der Funktionsbegriff ist einfach der Begriff der Abhängigkeit zwischen Variabeln (zunächst variabeln Größen). Die kausale Abhängigkeit ist aber eine besonders geartete, weil erstens die Wirkung durch die Ursache eindeutig bestimmt ist; es gibt nämlich auch vieldeutige funktionelle Abhängigkeiten (eine solche besteht zwischen Keimblattzahl und Blütenblattzahl, insofern als eine bestimmte Keimblattzahl zwar nicht ganz beliebige, aber doch verschiedene Blütenblattzahlen zuläßt). Ferner muß die Wirkung mit der Vollendung der Ursache sofort eintreten; dagegen bestehen funktionale Abhängigkeiten auch zwischen zeitlich ganz getrennten Tatsachen; z. B. hängt die Zahl der Tage im Februar ab von der Zahl der Tage im vorhergehenden Februar (allerdings nicht immer eindeutig!). Gerade daß die Wirkung unmittelbar auf den Werdeprozeß der Ursache folgt, macht diese Spezialart gesetzmäßiger Wirklichkeitsabhängigkeit für uns so wichtig, weil wir so erkennen können, was wir alsbald zu erwarten haben. Darum bleibt es ein Bedürfnis, diese Spezialart aus anderen Arten der Abhängigkeit herauszuheben.

Wenn die Ursache im Werden ist, können wir noch eingreifen und so auch die Wirkung verhindern; wenn die Wirkung aber da ist, ist an der Ursache nichts mehr zu ändern. Die Ursache erscheint so als das Unabhängige und Bestimmende im Ursache-Wirkungsverhältnis. Auch dies unterscheidet die Ursache-Wirkungsbeziehung von anderen Abhängigkeitsbeziehungen. Die Abhängigkeit von Atomgewicht und spezifischem Wärmeaufnahmevermögen z. B. ist eine wechselseitige, derart, daß nicht eines unabhängiger erscheint als das andere.

DIE VORAUSSETZUNG EINER REALEN AUSSENWELT.

Aufgabe und Begriffsbestimmung. Die vorwissenschaftliche Wirklichkeitserkenntnis und die Realwissenschaften ruhen auf Voraussetzungen, die nicht bewiesen werden können. Dies kommt für gewöhnlich nicht zum Bewußtsein, und die Erkenntnisgewinnung vollzieht sich auf der logischen Grundlage jener Voraussetzungen mit einer natürlichen Selbstverständlichkeit.

Auch die Überzeugung von der Existenz einer realen, von unserer Sinneswahrnehmung unabhängigen Außenwelt gehört zu diesen Voraussetzungen der Wirklichkeitserkenntnis, die dem vor- und einzelwissenschaftlichen Denken nicht leicht als solche zum Bewußtsein kommen. Wird sie einmal beachtet, so erscheint sie zunächst als selbstverständlich. Wir haben schon kritische Überlegungen angestellt, welche diese Selbstverständlichkeit der realistischen Annahme zu erschüttern vermögen. Nunmehr ist bei erneuter erkenntnistheoretischer Betrachtung der Außenweltsannahme zu untersuchen, was sich zu ihrer Rechtfertigung sagen läßt.

Zur Bestimmung des Begriffs der Außenwelt.

Zu diesem Zwecke ist zunächst genau anzugeben, was wir unter der Außenweltsvoraussetzung zu verstehen haben. Auf Grund unserer bisherigen Darlegungen liegt eine Begriffsbestimmung nahe, die die Außenwelt mit dem Wirklichen gleichsetzt, das nicht in meinem individuellen Bewußtseinsstrome liegt. Zur Außenwelt in diesem Sinne würden also nicht nur materielle Dinge gehören, sondern auch die Erlebnisse im Bewußtsein meiner Mitmenschen; denn auch die letzteren liegen „außerhalb" meines Bewußtseinsstromes.

Indessen ist nicht zu verkennen, daß diese Begriffsbestimmung zu Bedenken Anlaß gibt. Man kann auch das außerhalb aller (menschlichen und tierischen) Bewußtseinsströme Liegende als Außenwelt bezeichnen, wie es in der Tat vielfach geschieht. Wir sprechen daher, wo Mißverständnisse zu befürchten sind, vom „jenseits des individuellen Bewußtseins Liegenden" oder „Einzelbewußtseins-Transzendenten", wenn die Außenwelt im ersteren Sinne gemeint ist. Die Außenwelt im Sinne des außerhalb aller (menschlichen und tierischen) Bewußtseinsströme Liegenden bezeichnen wir kurz als das Bewußtseins-Transzendente.

Die Voraussetzungen der Regelmäßigkeit, Gesetzmäßigkeit, Kausalität, Stetigkeit und des Einzelbewußtseins-Transzendenten. Die Erkenntnistheorie soll „materiale" Voraussetzungen feststellen, in systematischen Zusammenhang bringen und rechtfertigen, so gut es möglich

ist. Fragen wir also zunächst, in welchem Zusammenhange die Annahme des Einzelbewußtseins-Transzendenten mit den bisher besprochenen Voraussetzungen steht.

Wir haben schon darauf hingewiesen, daß die Regelmäßigkeitsvoraussetzung mit der Annahme von Transzendentem jenseits des Einzelbewußtseinsstromes eng zusammenhängt. Indem wir in einer Außenwelt Ursachen unserer Sinneswahrnehmungen annehmen, unterstellen wir diese Bewußtseinserlebnisse festen Regeln, kausalen Gesetzen, während sie oft regellos hereinzubrechen scheinen, wenn wir nur das Geschehen im Einzelbewußtsein berücksichtigen.

Wird das Einzelbewußtseins-Transzendente von der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung gefordert?

Ist also die Annahme von Einzelbewußtseins-Transzendentem eine Forderung der Regelmäßigkeits- bzw. Gesetzmäßigkeits- und Kausalitätsvoraussetzung? Jedenfalls kann von streng gesetzmäßiger Bestimmung aller Einzeltatsachen nicht die Rede sein, wenn wir uns auf den Strom des eigenen Bewußtseins zwischen Geburt und Tod beschränken. Bei dieser Beschränkung treten immerzu Erlebnisse, insbesondere etwa Sinneswahrnehmungen, in den Strom des Geschehens ein, die nicht durch das Vorhergehende streng gesetzmäßig bestimmt sind. Wenn ich im Gebiete der zwischen Geburt und Tod liegenden eigenen „Phänomene" oder Bewußtseinserlebnisse bleibe, so kann ich nicht für jedes Neue und jede Veränderung eine Ursache aufweisen, mit deren Vollendung jenes Neue, jene Veränderung immer wieder einträte. Soll strenge, speziell kausale Gesetzmäßigkeit in der Wirklichkeit herrschen, so muß diese über den zwischen Geburt und Tod liegenden Bewußtseinsstrom hinaus vervollständigt werden.

Das könnte allerdings durch eine Annahme geschehen, die von der in Wissenschaft und Leben herrschenden Voraussetzung einer einzelbewußtseinstranszendenten Außenwelt ganz verschieden ist. Man brauchte nur die Lehre von der ewigen Wiederkehr auf den individuellen Bewußtseinsstrom anzuwenden. Ich könnte also annehmen, außer meinem Bewußtseinsstrome existiere nichts in der Welt; aber dieser Strom wiederhole sich von Ewigkeit zu Ewigkeit in genau gleicher Weise; nachdem er bis zu einem gewissen Punkte gelangt sei, trete wieder das Bewußtseinsstadium der frühen Kindheit ein, und so folge unaufhörlich Kindheit, Jugend, Reife, Alter, Kindheit usw.; mein Gedächtnis aber reiche dabei nicht über ein frühes Kindheitsstadium hinaus rückwärts. Durch diese Annahme ist die Regelmäßigkeits- bzw. Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung insofern durchaus befriedigt, als ja jedes Erlebnis durch den vorhergehenden Gesamtbestand des Einzelbewußtseins bestimmt erscheint, auf den es nach unverbrüchlicher Regel stets wieder folgt. Verstehen wir unter Ursache ein unmittelbar Vorhergehendes, mit dessen Vollendung immer das gleiche Neue, die Wirkung, eintritt, so werden durch unsere Annahme innerhalb des periodisch sich wiederholenden Einzelbewußtseins die Sätze befriedigt, daß alles seine Ursache hat, und daß dieselbe Ursache immer wieder dieselbe Wirkung mit sich bringt. Zwischen Kindheit und Alter wiederholt sich wohl kein Zustand des Gesamtbewußtseins genau; jeder Gesamtbewußtseinszustand träte also wohl nur einmal in der immer wieder sich erneuernden großen Lebensperiode Kind-

heit—Alter auf; er brächte aber nach obiger Annahme in jeder Periode, also bei jeder Wiederkehr, denselben Folgezustand, dieselbe „Wirkung“, mit sich.

Somit wären also Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung und Kausalprinzip ohne Annahme eines Einzelbewußtseins-Transzendenten zu befriedigen, wenn angenommen werden dürfte, daß zwischen frühester Kindheit und Tod sich nie der gleiche Zustand des Gesamtbewußtseins wiederholt. Das letztere steht allerdings nicht über allen Zweifel erhaben fest. Jedenfalls zeigt aber unsere Überlegung, daß die Ableitung landläufiger Außenweltsannahmen aus der Gesetzmäßigkeits- und Kausalitätsvoraussetzung nicht unangreifbar ist.

Es bleibt zu erwägen, ob wir zu einem anderen Ergebnis kommen, wenn wir das Kausalprinzip in der oben (S. 155, 157 f.) dargelegten Weise durch die Stetigkeitsannahme ausgestalten. Die soeben betrachtete Fiktion scheint dem Satze, daß hinreichend ähnliche Ursachen auch ähnliche Wirkungen haben, nicht gut zu entsprechen. Wenn es nichts in der Welt gibt als mein Bewußtsein, so kann das Gesamtwirkliche in dieser Sekunde doch dem Gesamtwirklichen in der vorigen Sekunde ungemein ähnlich sein, wenn ich etwa dauernd denselben Punkt starr anschaue. Auf den gegenwärtigen Augenblick aber mag unmittelbar die Tonempfindung eines Glockenschlages folgen, die vorhin, da doch fast genau das Gleiche vorherging, ausblieb. Natürlich kann man immer noch sagen, die Ähnlichkeit der verglichenen Gesamtbewußtseinszustände sei nicht hinreichend, und darum sei es erklärlich, wenn ein solcher Unterschied bezüglich der Folgeerlebnisse oder Wirkungen bestehe. Jedenfalls zeigt das Beispiel, daß es um unsere Schlüsse aus ähnlichen Ursachen auf ähnliche Wirkungen schlecht bestellt sein würde, wenn wir auf den Strom des Einzelbewußtseins uns beschränken wollten.

Ergebnis. Wir kommen zu folgendem Ergebnis. Soll die ganze Wirklichkeit sich strengen, speziell kausalen Gesetzen fügen, so können wir nicht bei dem zwischen Geburt und Tod verfließenden Einzelbewußtseinsstrome stehen bleiben. Es besteht allerdings keine strenge Notwendigkeit, ein Einzelbewußtseins-Transzendentes neben dem Einzelbewußtseinsstrome, zugleich mit ihm, anzunehmen.

Die Annahme eines Einzelbewußtseins-Transzendenten neben dem Strome des Einzelbewußtseins hängt also mit der Gesetzmäßigkeits-, Kausalitäts- und Stetigkeitsannahme aufs engste zusammen, ist jedoch nicht ganz streng auf diese zurückführbar. Insofern gehört sie unter die letzten, obersten Voraussetzungen.

Denkt man aber bei der Bezeichnung Einzelbewußtsein nur an den zwischen Kindheit und Tod sich erstreckenden Bewußtseinsstrom, und rechnet man zum Einzelbewußtseins-Transzendenten alles, was außerhalb dieses Stromes liegt, so darf man sagen, daß die Gesetzmäßigkeits- bzw. Kausalitätsvoraussetzung derartiges fordert.

Selbständige Rechtfertigung des Einzelbewußtseins-Transzendenten. Um die Annahme des Einzelbewußtseins-Transzendenten zu rechtfertigen, wird man sich vor allem darauf berufen, daß sie den Gedanken strenger, speziell kausaler Gesetzmäßigkeit des Wirklichen möglich macht, während eine

solche nicht anerkannt werden dürfte, wenn die Realwissenschaften es nur mit den Erlebnissen, den Empfindungen usw. des Einzelbewußtseins, soweit wir sie in diesem Leben erfahren, zu tun hätten.

Wenn man aber bedenkt, daß Regelmäßigkeits-, Gesetzmäßigkeits- und Kausalitätsvoraussetzung sich schließlich auf ihre Bedeutung für Leben und Erkennen und in letzter Linie auf einen natürlichen Glauben des gesunden Menschenverstandes stützen müssen, so wird man sich fragen, ob nicht unmittelbar eine entsprechende Rechtfertigung unserer neuen Annahme möglich sei.

Denknotwendig ist die Annahme eines Einzelbewußtseins-Transzendenten so wenig wie die anderen Voraussetzungen. Es liegt nichts Denkunmögliches, nichts Widerspruchsvolles in der solipsistischen Lehre, daß meine Bewußtseinsinhalte das allein Wirkliche sind, daß, bildlich und darum ungenau gesprochen, das Weltgeschehen nur mein Traum ist.

Andererseits ist auch die Annahme eines Einzelbewußtseins-Transzendenten durchaus widerspruchsfrei und denkmöglich. Der Solipsismus ist keine Denknotwendigkeit, wie gegenüber konszientialistischen Überlegungen schon früher dargetan wurde. Auch liegt kein Widerspruch gegen die bisher aufgenommenen Voraussetzungen vor, sondern ein zum Teil enger Zusammenhang mit denselben.

Über die Lebens- bzw. Erkenntnisnotwendigkeit der Voraussetzung des Einzelbewußtseins-Transzendenten.

Es wäre nun zu untersuchen, ob die neue Voraussetzung lebens- bzw. erkenntnisnotwendig ist. Jedenfalls ist sie praktisch unentbehrlich. Man wird im täglichen Leben nicht ohne die Annahme auskommen, daß Berge und Städte, Möbel und Werkzeuge Wirklichkeit außerhalb der Einzelseele besitzen, daß das Korn keimt, auch während niemand es sieht, daß es Mitmenschen gibt, die denken, fühlen und wollen wie ein jeder von uns.

Insbesondere stellt der Glaube an einzelbewußtseins-transzendente Seelen eine praktisch-ethische Notwendigkeit dar. Wer als Solipsist glauben würde, sein Bewußtsein sei allein wirklich, müßte jede selbstlose Rücksicht auf seine Mitmenschen für sinnlos halten.

Die vor- und einzelwissenschaftliche Wirklichkeitserkenntnis kann in der Form und in dem Umfang, in dem sie tatsächlich vorliegt, die Annahme des Einzelbewußtseins-Transzendenten nicht entbehren. Das psychologische und das historische Wissen überschreiten die Schranken meines Einzelbewußtseins und beschäftigen sich mit dem Seelenleben anderer Menschen. Die Naturwissenschaft handelt von Sternen und Elektronen, die nie mein Auge gesehen hat, die im Einzelbewußtsein nicht zu finden sind. Die Physik, wie sie in den Werken der Forscher tatsächlich zu finden ist, spricht keineswegs hauptsächlich von „Empfindungen", erst recht nicht von solchen in meinem Einzelbewußtsein, sondern von einer Körperwelt, von der ich zwar Wahrnehmungen habe, die aber als solche nicht in meinem Bewußtsein ist. Das Aufgeben des Einzelbewußtseins-Transzendenten würde also, scheint es, ungeheure Wissensgebiete vernichten. Insofern erscheint unsere Voraussetzung wissensnotwendig.

Der natürliche Glaube des gesunden Menschenverstandes.

Endlich braucht kaum angedeutet zu werden, daß sie sich auf einen starken natürlichen Glauben des gesunden Menschenverstandes stützen kann. Schopenhauer verweist den Solipsismus, den er für unwiderlegbar erachtet, ins Irren-

haus; und in der Tat wird nicht leicht ein Mensch mit gesundem Geiste glauben, sein Bewußtsein sei das Einzige, das in der Welt wirklich existiere. Aber auch der Konszientialismus oder erkenntnistheoretische Idealismus widerstreitet dem gesunden Menschenverstande, indem er leugnet, daß unseren Wahrnehmungen körperlicher Dinge transzendente Realitäten, „Dinge an sich", zugrunde liegen. Wenn man erkannt hat, daß es in letzter Linie ein zwingender natürlicher Glaube ist, der fundamentalen Voraussetzungen unseres Wirklichkeitserkennens ihren Halt gibt, so wird man auch bei der Voraussetzung eines Einzelbewußtseins-Transzendenten dieser Bürgschaft viel Bedeutung beimessen. Damit sind Korrekturen an den natürlichen Überzeugungen des gesunden Menschenverstandes nicht ausgeschlossen, falls solche durch unaufhebbare Denkforderungen aufgenötigt werden.

Abwehr von Einwendungen gegen die Annahme des Bewußtseins-Transzendenten. Sofern das Einzelbewußtseins-Transzendente im Bewußtsein des Mitmenschen (und der höheren Tiere) angesetzt wird, findet es fast allgemeine Anerkennung. Nur gelegentlich ist der Solipsismus oder solipsistische Konszientialismus vertreten worden, und zwar lediglich theoretisch (in jüngster Zeit insbesondere auch in der Naturerkenntnistheorie). Ich kann aber nicht gut in der Theorie eine Lehre vertreten, von deren Irrtümlichkeit ich im Leben und Handeln völlig überzeugt bin. Wenn man ferner bedenkt, daß eigentlich schon mit der „Setzung" eigenen zukünftigen Bewußtseins ein die Regelmäßigkeitsvoraussetzung befriedigendes „Transzendentes" anerkannt wird, wird man weiterhin auch das „transzendente" Bewußtsein der Mitmenschen, das gleichfalls zur Befriedigung der Regelmäßigkeitsvoraussetzung dient, gelten lassen. Diese Annahme erscheint zugleich als praktisch-ethisch unentbehrlich, und sie bewährt sich durchaus in Leben und Wissenschaft.

Gegen den Solipsismus.

Dagegen hat die Annahme eines Bewußtseins-Transzendenten, das die an-sich-existierende Grundlage unserer Körperwahrnehmungen darstellen soll, zahlreiche Gegner. Die Konszientialisten oder erkenntnistheoretischen Idealisten leugnen die Existenz von Dingen-an-sich außerhalb des Bewußtseins der Lebewesen. Ihre Behauptung, der Gedanke eines Bewußtseins-Transzendenten sei widerspruchsvoll, wurde von uns schon zurückgewiesen. Weiterhin ist gegen den erkenntnistheoretischen Idealismus zu sagen, daß er als eine Halbheit erscheint. Das Bewußtsein meiner Mitmenschen, ja mein eigenes vergangenes und zukünftiges Bewußtsein ist schon als transzendent anzusehen. Wenn wir aber der Regelmäßigkeitsvoraussetzung entsprechend einmal Einzelbewußtseins-Transzendentes als Bewußtsein der Mitmenschen ansetzen, warum sollen wir dann davor zurückschrecken, durch Annahme bewußtseins-transzendenter Dinge-an-sich als Ursachen unserer Sinneswahrnehmungen die Regelmäßigkeit des Wirklichen zu vervollständigen?

Gegen den Konszientialismus.

Man mag erwidern, der Einwurf vernachlässige einen bedeutsamen Unterschied: das vom Idealisten hinzugenommene Transzendente, das Bewußtsein der Mitmenschen, sei dem Immanenten, dem eigenen, gegebenen Bewußtsein wesensgleich; dies gelte hingegen nicht vom Transzendenten außerhalb des

Bewußtseins *aller* Lebewesen, vom Bewußtseins-Transzendenten schlechthin, von den Dingen-an-sich. Darum könne man die realistische Annahme ablehnen, ohne den Vorwurf der Halbheit zu verdienen.

Hierauf wäre wiederum zu antworten, es liege kein *Grund* vor, mit der Annahme von Transzendentem an der Grenze des Bewußtseins der Lebewesen Halt zu machen; denn das die Regelmäßigkeits- bzw. Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung befriedigende Überschreiten dieser Grenze ist möglich, ohne daß sich ein Widerspruch ergibt. Auch braucht das Bewußtseins-Transzendente von unserem Bewußtseinsinhalte nicht gänzlich wesensverschieden zu sein. Die starke spiritualistische Strömung in der Metaphysik hat immer die Dinge-an-sich nach Analogie der Seele gedeutet. Auch das vorwissenschaftliche Denken, das die Dinge-an-sich mit den erlebten Empfindungsqualitäten ausstattet, macht sie damit Bewußtseinsinhalten ähnlich. Überdies kann man das Transzendente außerhalb des Bewußtseins der Menschen und Tiere, die Dinge-an-sich, welche die Ursachen unserer Körperwahrnehmungen darstellen sollen, in ein allumfassendes, göttliches Bewußtsein hineinverlegen. Der erkenntnistheoretische Idealismus hat sich, durch die Kausalitätsvoraussetzung gedrängt, zuweilen zu ähnlichen Annahmen veranlaßt gesehen und damit eigentlich den Übergang zur realistischen Grundannahme vollzogen. So verursacht nach *Berkeley* Gott unsere Körperwahrnehmungen; er übernimmt also die Rolle der Dinge-an-sich.

Positivisten wie *Comte* und neuerdings *Ostwald* haben die Forderung aufgestellt, man solle keine hypothetischen Annahmen machen, die ihrer Natur nach niemals bewiesen werden können. Nun wird die Annahme von Bewußtseins-Transzendentem nie streng beweisbar sein. Aber jene Forderung ist, streng genommen, gänzlich undurchführbar. Wir haben zur Genüge betont, daß wir an nie-beweisbaren Annahmen nicht vorbeikommen. Es gibt keinen völlig zwingenden Beweis für die Existenz des Bewußtseins unserer Mitmenschen, und trotzdem werden wir diese Annahme gelten lassen. Darum braucht auch die Annahme des Bewußtseins-Transzendenten nicht aufgegeben zu werden, weil sie nicht im strengen Sinne beweisbar ist.

Fortsetzung. Idealistische Deutung der Naturerkenntnis. Die Vertreter des erkenntnistheoretischen Idealismus oder Konszientialismus würden gegen unseren Rechtfertigungsversuch vor allem einwenden, die Annahme einer bewußtseins-transzendenten Außenwelt sei *nicht erkenntnisnotwendig*. Mit der Ablehnung derselben werde keineswegs die Naturerkenntnis vernichtet. Die Natur, wenn man so will die Außenwelt, dürfe nicht als ein Bewußtseins-Transzendentes aufgefaßt werden. Die Naturwissenschaft habe sich nicht mit bewußtseins-transzendenten Dingen-an-sich, sondern mit Immanentem, mit wirklichen oder möglichen „Erscheinungen“, mit „Wahrnehmungsmöglichkeiten“ oder gar mit rein gedanklichen Produkten unseres Verstandes zu beschäftigen.

Die Naturdinge als „Wahrnehmungsmöglichkeiten“.

Diese sowohl von radikalen Empiristen wie von Kantianern vertretenen Lehren bedürfen zunächst der Verdeutlichung. Wenn wir ein Naturobjekt, z. B. eine Pflanze betrachten, so haben wir eine Sinneswahrnehmung. Schließen wir die Augen, so ist diese Wahrnehmung oder „Erscheinung“ zwar nicht mehr

vorhanden, aber sie bleibt immer noch möglich; denn sobald wir die Augen wieder öffnen, ist sie wieder da. Die Pflanze bedeutet also für uns die eine Zeitlang bestehenbleibende Möglichkeit gewisser Wahrnehmungen. So sind alle Naturdinge und Naturvorgänge Wahrnehmungsmöglichkeiten. Wenn man sagt, im botanischen Garten befinde sich eine Zeder, so meint man, dieser Baum dort werde sichtbar, wenn man hingeht und zusieht. Die Annahme, hinter den Wahrnehmungen verbergen sich bewußtseins-transzendente Dinge-an-sich, erscheint ebenso überflüssig wie unbeweisbar. Die Naturerkenntnis, auch die Naturwissenschaft, komme aber mit den (möglichen) „Erscheinungen", mit den Wahrnehmungsmöglichkeiten völlig aus.

Einwände. Gegen die letztere Behauptung läßt sich einwenden, daß in der Naturwissenschaft doch viel von Dingen die Rede ist, deren Wahrnehmung unmöglich erscheint; dies gilt z. B. vom Äther, den Atomen, den Elektronen. Radikale Denker fordern nun einfach, daß solche hypothetischen „Wahrnehmungsunmöglichkeiten", wie Atome und dergleichen, von der Naturwissenschaft als überflüssiger Ballast über Bord zu werfen seien; die Forschung werde ohne die Beschwerung mit solchen Hypothesen um so besser fortschreiten. Das wird allerdings nicht leicht bewiesen werden können, da jedenfalls zugegeben werden muß, daß die Annahme unwahrnehmbarer Dinge, z. B. der Atome, der Wissenschaft oft gute Dienste geleistet hat. Übrigens konnte manches, was früher unwahrnehmbar war und nur hypothetisch erschlossen wurde, später der direkten Wahrnehmung zugänglich gemacht werden; so z. B. die Schallwellen. Es ist also schwer zu sagen, was für alle Zeit unwahrnehmbar sein wird. Wahrscheinlich wird nie ein uns bekanntes Lebewesen die der Erde stets abgewandte Hälfte der Mondoberfläche sehen. Sollen wir diese darum leugnen, da sie nicht zu den „Wahrnehmungsmöglichkeiten" zu zählen wäre?

Die Beseitigung aller unwahrnehmbaren Dinge aus dem wissenschaftlichen Naturbilde würde mit dem Kausalgesetz in Konflikt kommen. Die Astronomen erschließen unsichtbare Himmelskörper aus den Wirkungen, die sie auf die wahrnehmbaren Gestirne ausüben. Wir werden also nicht umhin können, in der Naturwissenschaft Dinge anzuerkennen, deren Wahrnehmung nicht möglich erscheint.

Will man trotzdem an der These festhalten, die Dinge seien Wahrnehmungsmöglichkeiten, so muß man das Wort Möglichkeit in einem sehr weiten, damit aber auch sehr wenig besagenden Sinne verwenden. Man kann die Fiktion von Sinnesorganen bilden, für die auch der Äther, die Atome und Elektronen wahrnehmbar wären. In diesem Sinne kann man sagen, prinzipiell sei die Wahrnehmung keines Naturobjektes ausgeschlossen; darum stelle jedes derselben, jedes „Außenweltsding", eine Wahrnehmungsmöglichkeit dar.

Diese Antwort klingt nicht sonderlich befriedigend. Wenn Atome und unsichtbare Himmelskörper nichts sind als Wahrnehmungsmöglichkeiten für Wesen, von denen nur unsere Phantasie weiß, warum kümmern wir uns dann um sie?, warum haben sie eine Bedeutung für unsere Wissenschaft? Nun, diese für uns nicht wahrzunehmenden Dinge erklären uns die wahrnehmbare Natur, lassen uns sichtbare Erscheinungen voraussehen, dienen den letzteren etwa als

Ursachen. Wenn dies aber ihre Bedeutung ausmacht und ihre bewußtseinstranszendente Wirklichkeit doch geleugnet werden soll, so wird man jene unwahrnehmbaren Atome, Elektronen, dunklen Sterne usw. als lediglich gedachte Gebilde bezeichnen können, die zur kausalen (gesetzmäßigen) Bestimmung und Erklärung des Wahrgenommenen dienen.

Naturobjekte als lediglich gedachte Gebilde.

Gilt dies aber von den unwahrnehmbaren Objekten, die in der Naturwissenschaft eine so große Rolle spielen, so wird es auch von den Wahrnehmungsmöglichkeiten gelten, solange diese nicht tatsächlich wahrgenommen werden. Ist ein Stein auf dem Meeresgrunde nichts als eine Wahrnehmungsmöglichkeit, so ist er, solange kein Auge ihn sieht, etwas lediglich Gedachtes. Wird er aber ans Licht befördert und gesehen, so kommt eben die Wahrnehmung hinzu. Der Stein wird nicht mit der Wahrnehmung selbst gleichgesetzt, sondern er macht diese möglich; er ist also eigentlich auch während der Wahrnehmung etwas Gedachtes, das zur Bestimmung und Erklärung der Wahrnehmung, dieses unseres Bewußtseinserlebnisses, dient.

So kommen wir zu der Lehre, die ganze Natur oder die Außenwelt sei lediglich ein gedachtes Gebilde, ein Produkt unseres Verstandes zur Bestimmung und Erklärung unserer Sinneswahrnehmungen. Für diese fehlen die Ursachen, fehlt kausale Bestimmung und Erklärung, wenn wir uns auf die Betrachtung des Bewußtseinsgeschehens beschränken. Darum denkt, erfindet der Verstand eine Außenwelt hinzu, durch die jene Bestimmung, Voraussage und Erklärung unserer Bewußtseinserlebnisse, der Sinneswahrnehmungen, möglich wird. Was aber so hinzugedacht wird, hat nicht bewußtseins-transzendente Wirklichkeit, sondern existiert nur als Gedachtes, Immanentes in unserem Naturerkennen, insbesondere im naturwissenschaftlichen Denken. Dieses schafft die Natur, baut sie der Gesetzmäßigkeits- und Kausalitätsvoraussetzung entsprechend in Anlehnung an unsere Wahrnehmungen immer weiter und sorgfältiger aus.

Diese Lehre stimmt also unseren früheren Ausführungen darin zu, daß zur Befriedigung der Gesetzmäßigkeits- bzw. Kausalitätsauffassung eine Natur (eine Art von „Außenwelt") zu unserem Bewußtseinsgeschehen, insbesondere zu den Sinneswahrnehmungen, hinzugedacht werden muß. Sie bestreitet aber, daß dies Hinzugedachte transzendente Wirklichkeit haben müsse. Dies anzunehmen erscheine keineswegs erkenntnisnotwendig. Die ganze Naturerkenntnis könne fortbestehen und sich in der bewährten Weise weiter entwickeln, auch wenn man zu der Einsicht gelangt sei, daß die Naturdinge, die Sonnen und Planeten wie die Atome und Elektronen, nur in unserem Denken Wirklichkeit haben, welches sie in Anlehnung an die Wahrnehmung hervorbringt. Seinen eigenen Gesetzen und den Fingerzeigen unserer Sinneswahrnehmung folgend, produziert unser Verstand mit innerer Notwendigkeit die äußere Welt mit all ihrem Reichtum im unermeßlich Großen und unvorstellbar Kleinen. Diese Produktion ist kein müßiges Spiel, weil das gesetzmäßige Bestimmen der Wahrnehmung durch das Gedankenprodukt der Natur das Vorausbestimmen zukünftiger Wahrnehmungserlebnisse ermöglicht.

Nach solchen Überlegungen kann die Annahme eines Bewußtseins-Transzendenten leicht als ganz überflüssig für Wissenschaft und Leben erscheinen. Mit einer nur gedachten Natur oder Außenwelt kann man ganz das Gleiche erreichen. So gewiß die Annahme einer bewußtseins-transzendenten Außenwelt im strengen Sinne unbeweisbar genannt werden muß, so gewiß ist die soeben Kritik. dargelegte Auffassung nicht streng zu widerlegen. Doch muß in Erwägung gezogen werden, wie sie mit unseren bisherigen Voraussetzungen zusammenpaßt. Sie scheint ja die Gesetzmäßigkeits- bzw. Kausalitätsvoraussetzung zu befriedigen. Doch werden dazu Gedankendinge statt Wirklichkeiten benutzt. Sehen wir genauer zu, so kann von einer eigentlichen Befriedigung des Kausalprinzips nicht die Rede sein. Betrachten wir wieder den Fall, daß ich unerwartet einen Glockenton vernehme. Die Glocke, die Schallwellen, mein Trommelfell usw. sollen keine bewußtseins-transzendente Wirklichkeit haben; nichts von ihnen wäre da, wenn niemand sie im Bewußtsein hat. Niemand hat vielleicht an diese Ursachen der Tonempfindung gedacht, als diese eintrat. Ihr fehlt also die Ursache.

Das Kausalprinzip soll befriedigt werden durch eine Natur, durch eine Außenwelt, die gar nicht wirklich ist, wenn niemand sein Bewußtsein auf sie richtet. Die Welt, für welche die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung gilt, existiert nur zu einem kleinen Teil als menschliches und tierisches Bewußtsein; der größte Teil dieser Welt, die strengen Gesetzen sich fügt, ist lediglich etwas Gedachtes, Unwirkliches. Von einer strengen, speziell kausalen Gesetzmäßigkeit des Wirklichen kann also nicht die Rede sein.

Ist die Natur ein gedachtes Gebilde ohne bewußtseins-transzendente Wirklichkeit, so ist das Kausalprinzip in der wahrhaft wirklichen Welt der Bewußtseinstatsachen nicht durchführbar. Nun kann man ja schließlich, wenn man eine Verletzung des Sprachgefühls nicht scheut, dies nur gedachte, unwirkliche Gebilde als „Realität“ bezeichnen; übernimmt es doch die Rolle der bewußtseinstranszendenten Realität des vorerkenntnistheoretischen Denkens. Man wird dann zugeben, daß das Kausalprinzip und die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung nur durch Hinzunahme solcher gedachten (unwirklichen „Realitäten“) durchführbar sind, nicht aber im eigentlich Wirklichen, im Kreise der Bewußtseinserlebnisse, durchgeführt werden können.

(Wir haben im Anschluß an einen verbreiteten erkenntnistheoretischen Sprachgebrauch, der in Kantschen Gedankengängen wurzelt, das „Hinzugedachte“, das „gedachte Gebilde“, welches die bewußtseins-transzendente Welt nach der Meinung erkenntnistheoretischer Idealisten vertreten soll, als Natur bezeichnet. Da wir die Natur in der Einleitung als Körperwelt bestimmt haben, müßte zur Rechtfertigung dieses Sprachgebrauches gezeigt werden, daß jenes „Hinzugedachte“ eine gedachte Körperwelt darstellen müsse. Mit Rücksicht auf die vitalistische Strömung in der Biologie kann man sich fragen, ob nicht auch unkörperliche „Realitäten“ zum Bewußtseinswirklichen hinzuzudenken seien. Die gleiche Frage wird durch psychologische Hypothesen (Annahme eines Unbewußten, einer Seelensubstanz) aufgedrängt. Doch brauchen wir hier darauf nicht einzugehen.)

Fortsetzung. Die Außenwelt als Fiktion. Weniger irreführend wäre es, wenn man auf dem soeben dargelegten idealistischen oder konszientialistischen Standpunkte die Natur nicht mehr als Realität bezeichnen wollte, sondern als ein notwendiges bzw. zur Orientierung, zur Bestimmung der Wahrnehmungen überaus brauchbares Gedankengebilde, als eine Fiktion. Mehr oder weniger fiktive Annahmen werden ja in der Naturwissenschaft zuweilen zur Bestimmung von Tatsachen benutzt; so hat z. B. Maxwell Modelle zur Verbildlichung elektrisch-magnetischer Erscheinungen verwandt, die ihm zu ihrer Erfassung einen Dienst tun konnten, obgleich sie fiktiver Natur waren. So wäre auch die Annahme einer Außenwelt eine großartige, von der Naturwissenschaft immer weiter auszubauende Fiktion zur Erfassung und Vorhersage der Sinneswahrnehmungen. Diese treten auf, als ob sie durch eine bewußtseinstranszendente Wirklichkeit kausal-gesetzlich bestimmt wären. Unser Bewußtseinsgeschehen, die einzig existierende Wirklichkeit, entwickelt sich so, als ob es eine bewußtseins-transzendente Welt gäbe, als ob jenes mit dieser gesetzmäßig verbunden, durch sie kausal bestimmt wäre. Das Kausalprinzip selbst verliert die Bedeutung eines die Wirklichkeit beherrschenden Gesetzes; es wird zu einer zur Bestimmung des Wirklichen dienenden Fiktion: das Bewußtseinsgeschehen verläuft so, als ob es einen Teil einer weiteren, kausal-gesetzmäßig sich verhaltenden Wirklichkeit ausmachte.

Konszientialistische Fiktionslehre.

Von einer strengen Widerlegung dieser Auffassung kann nicht die Rede sein. Wir stimmen ihr ja darin durchaus zu, daß das Bewußtseinsgeschehen so verläuft, als ob eine bewußtseins-transzendente Welt existierte und das Bewußtseinsgeschehen kausal mitbestimmte. Wir meinen überdies, daß die bewußtseinstranszendente Welt tatsächlich existiert und unser Bewußtseinsgeschehen kausal mitbestimmt. Dies wird nun als eine überflüssige Annahme erklärt, die die Erkenntnis ganz unnötig belaste. In der Tat kann niemand nachsehen, ob die Außenwelt bewußtseins-transzendente Wirklichkeit hat oder nur eine Fiktion darstellt; denn wir können nicht aus unserem Bewußtsein hinaus, können nicht hinter unsere Wahrnehmungen schauen, ob da etwas Transzendentes sich findet.

Zur Kritik der Fiktionslehre.

Doch kann man immerhin sagen, daß die Annahme eines Bewußtseins-Transzendenten praktisch keine Belastung, sondern eher eine Erleichterung der Erkenntnis darstelle. Soll ja doch alles so zugehen, als ob diese Annahme richtig wäre; die Natur, die Außenwelt, soll in Wissenschaft und Leben beibehalten werden; nur soll die Einsicht hinzukommen, daß es sich lediglich um ein Gedankengebilde, um eine Fiktion handele. Praktisch bedeutet diese hinzukommende Erkenntnis des fiktiven Charakters der Natur eher eine Belastung. Wenn alles so verläuft, als ob es eine bewußtseins-transzendente Wirklichkeit gäbe, wenn wir ohne diese Vorstellung in Wissenschaft und Leben gar nicht auskommen, scheint es doch leicht am zweckmäßigsten, ihr schlechthin Glauben zu schenken. Der hinterher kommende Gedanke, es handele sich um eine bloße Fiktion, scheint ziemlich überflüssig und der ganze Streit praktisch recht bedeutungslos.

Die praktische Bedeutungslosigkeit der Streitfrage aber mag hier beiseite

bleiben. Wir müssen gegen die konszientialistische Fiktionslehre einwenden, daß sie einen Mangel an Konsequenz aufweist. Wenn alle Annahmen von unbeweisbarem Transzendenten, obgleich sie sich bewähren, als Fiktionen betrachtet werden sollen, so ist der Glaube an das Seelenleben der Mitmenschen, an meine eigene Bewußtseins-Vergangenheit und -zukunft auch nur als Fiktion anzusehen. Mein Bewußtseinsgeschehen verläuft so, als ob es Seelenleben in meinen Mitmenschen gäbe, als ob eine Vergangenheit, der die Gegenwart entspricht, existiert hätte; doch läßt sich dies im strengen Sinne so wenig beweisen wie die Annahme einer bewußtseins-transzendenten Außenwelt. Jenes gelten zu lassen, das Bewußtseins-Transzendente aber abzulehnen, erscheint auch hier als Halbheit.

Wir können nicht umhin, der Regelmäßigkeitsvoraussetzung entsprechend Transzendentes anzusetzen, zunächst als eigenes zukünftiges Bewußtseinsgeschehen. Es liegt kein besonderer Grund vor, vor dem Bewußtseins-Transzendenten Halt zu machen und dies als Fiktion zu erklären; sind wir doch nicht imstande, alles Transzendente zur Fiktion zu stempeln.

Wenn der Konszientialismus das Bewußtseins-Transzendente leugnet, aber anerkennt, daß unsere Wahrnehmungserlebnisse auftreten, als ob jenes Transzendente sie bewirkte, so bleibt unverständlich, warum dies der Fall ist. Man kann dies ja schließlich für eine letzte, unerklärbare Tatsache der Weltordnung halten und sich darauf berufen, daß auch der Realist dergleichen hinnehmen muß, indem er die Gesetzmäßigkeit des Weltgeschehens anerkennt. Mit gleichem Rechte könnte aber auch der Solipsist behaupten, es sei als eine letzte Tatsache der Weltordnung hinzunehmen, wenn es den Anschein habe, als ob unsere Mitmenschen beseelt seien, obgleich dies eine entbehrliche Annahme, eine Fiktion darstelle.

MÖGLICHKEIT, CHARAKTER UND GRENZEN DER AUSSENWELTSERKENNTNIS.

Die Erkennbarkeit der Außenwelt. Der Phänomenalismus erkennt an, daß es eine bewußtseins-transzendente Außenwelt, daß es Dinge-an-sich als Ursachen unserer Sinneswahrnehmungen gibt. Aber er leugnet deren Erkennbarkeit. Das Erkennen bleibt, wie für den erkenntnistheoretischen Idealismus, auf die (wirklichen und möglichen) Erscheinungen eingeschränkt.

Für den Phänomenalismus.

Wir haben bereits (vgl. S. 66f. und 69f.) Überlegungen angestellt, die zu phänomenalistischen Konsequenzen führen. Die Sinneswahrnehmungen sollen als Wirkungen der Außenweltsrealitäten betrachtet werden. Mit der Wirkung ist uns aber keineswegs ohne weiteres die Ursache bekannt. Wenn uns freilich die Erfahrung belehrt hat, daß zu einer bestimmten Wirkung eine bestimmte Ursache gehört, so können wir später aus der Wirkung die Ursache erschließen. So verrät uns eine wohlbekannte Stimme die Person des Sprechenden im Dunkeln. Anders liegen die Dinge, wenn die Erfahrung uns nie die Ursache zu einer Wirkung gezeigt hat. Nun sind Dinge-an-sich niemals in der Erfahrung gegeben. Diese zeigt uns immer nur ihre Wirkungen, die Sinneswahrnehmungen. Also können wir nicht wissen, wie die verursachenden Realitäten-an-sich beschaffen sind.

Möglichkeit gewisser Erkenntnisse bezüglich der Außenwelt.

Demgegenüber ist darauf hinzuweisen, daß die bewußtseins-transzendente Außenwelt jedenfalls so gedacht werden muß, daß die Gesetzmäßigkeits- bzw. Kausalitätsvoraussetzung befriedigt wird. Aus dieser Forderung, die selbst eigentlich schon ein Wissen um die Außenwelt bedeutet, ergeben sich aber sofort manche Erkenntnisse.

Die Außenwelt muß zunächst in der Zeit sein; es muß ein Früher und Später in ihr geben. Denn da die Wahrnehmungen, diese Wirkungen der bewußtseinstranszendenten Realitäten, in verschiedenen Zeitpunkten einsetzen, müssen auch diese Realitäten, die transzendenten Ursachen, in verschiedenen Zeitpunkten vollständig werden. Wir müssen demnach Kants Lehre von der Unzeitlichkeit der Welt der Dinge-an-sich ablehnen.

Das Bewußtseins-Transzendente muß ferner Unterschiede, Veränderung einschließen. Denn eine unterschiedslose, unveränderliche Realität, wie sie die Philosophen zuweilen gedacht haben, würde zur Befriedigung der Kausalitätsvoraussetzung hinsichtlich der Sinneswahrnehmungen nichts leisten. Wenn mich plötzlich ein lauter Ton aus bewußtlosem Schlafe weckt, muß in der Außen-

welt eine Veränderung vor sich gegangen, eine Ursache vollständig geworden sein, die dies neue Bewußtseinserlebnis des Tones bewirkt.

Zu verschiedenen Wirkungen gehören verschiedene Ursachen. Kann die Verschiedenheit zweier Sinneswahrnehmungen nicht auf Tatsachen im Bewußtsein zurückgeführt werden, so ist eine Verschiedenheit der bewußtseins-transzendenten Ursachen anzunehmen. Tritt unter im übrigen wesentlich gleichen Bewußtseinsumständen, z. B. im tiefen Schlafe, einmal eine Klangwahrnehmung, ein andermal eine Geräuschwahrnehmung auf, so werden den verschiedenen Wahrnehmungen verschiedene Außenweltsursachen zugrunde liegen. So ergibt sich aus der Möglichkeit der Unterschiedserkenntnis innerhalb des Bewußtseins (vgl. S. 77f.) ein Weg, Unterschiede im Bewußtseins-Transzendenten festzustellen. Man könnte allerdings den Einwand vorbringen, es sei ungewiß, ob zwei verschiedene Sinneswahrnehmungen jemals unter völlig gleichen Bewußtseinsumständen auftreten, und so bleibe immer die Möglichkeit, die Verschiedenheit der ersteren auf die Verschiedenheit mitwirkender Bewußtseinsumstände zurückzuführen. Wenn man aber bedenkt, daß wesentlich gleiche Wahrnehmungen unter recht verschiedenen Bewußtseinsumständen und sehr verschiedene Wahrnehmungen unter wesentlich gleichen Bewußtseinsumständen auftreten, wird man im letzteren Falle im Sinne der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung die bewußtseins-transzendenten Faktoren für die Wahrnehmungsunterschiede verantwortlich machen. Es gelingt nicht, die Unterschiede der Sinneswahrnehmungen kausal-gesetzmäßig zu bestimmen, wenn man nicht neben dem Wechsel der Bewußtseinsumstände Unterschiede der bewußtseinstranszendenten Faktoren in Betracht zieht.

Da gleiche Wirkungen von verschiedenen Ursachen herrühren können, hat der Schluß von gleichen Sinneswahrnehmungen auf gleiche bewußtseinstranszendente Realitäten besondere, prinzipielle Schwierigkeiten. Immerhin ist es die nächstliegende Hypothese, daß z. B. zwei gleichen Tonwahrnehmungen gleiche Außenweltsursachen zugrunde liegen.

Folgen mehrere Tonwahrnehmungen aufeinander, deren jede eine Außenweltsursache fordert, so liegt ein Anlaß vor, den Begriff der Zahl auf Außenweltsrealitäten anzuwenden.

Nach alledem können wir die Außenwelt nicht im Sinne des entschiedenen, agnostizistischen Phänomenalismus als gänzlich unerkennbar bezeichnen. Mit der Voraussetzung, daß eine bewußtseins-transzendente Welt unsere Sinneswahrnehmungen kausal bestimmt, ist eine gewisse Erkenntnis jener Welt sofort gegeben.

Erkenntnistheoretische Rechtfertigung und Kritik der vorwissenschaftlichen und einzelwissenschaftlichen Außenweltserkenntnis. Die realistische Ansicht, daß eine Erkenntnis der bewußtseinstranszendenten Außenwelt möglich sei, wird man vor allem durch kritische Rechtfertigung der im vorwissenschaftlichen Denken und in den Einzelwissenschaften wirklich oder vermeintlich vorliegenden Außenweltserkenntnisse zu stützen suchen.

Die Leistung der vor- und einzelwissenschaftlichen Außenweltserkenntnis als Rechtfertigungsgrund.

Wir brauchen bei der Bestimmung der Außenwelt aus ihren Wahrnehmungswirkungen nicht *ab ovo* anzufangen. Das vorwissenschaftliche und einzelwissenschaftliche Erkennen, insbesondere die Naturwissenschaften, bieten ein bis zu hoher Vollendung ausgeführtes Bild der Außenwelt an, das in der kausal-gesetzmäßigen Bestimmung und Vorhersage der Sinneswahrnehmungen Außerordentliches leistet. Der Versuch, eine bewußtseins-transzendente Welt zur kausal-gesetzmäßigen Bestimmung der Wahrnehmungen unabhängig von dem vor- und naturwissenschaftlichen Außenweltsbilde zu ersinnen, ist niemals bis zu befriedigenden Leistungen im Voraussagen und Bestimmen des Einzelnen durchgeführt worden. Darum liegt der Gedanke nahe, daß die vor- und einzelwissenschaftliche Realitätserkenntnis im wesentlichen auf richtigem Wege ist und nicht durch andere Außenweltsbilder einfach ersetzt werden kann.

In der Tat wird die realistische Auffassung des täglichen Lebens und der Naturwissenschaft im wesentlichen Richtiges treffen müssen; denn sonst wäre schlechthin unverständlich, wie sie uns so vorzüglich leiten, so ausgezeichnete Dienste im Bestimmen und Voraussagen der Wahrnehmungen tun könne. Wenn nicht, wie wir im täglichen Leben meinen, mein Tisch als dauerndes, von meiner Wahrnehmung unabhängiges Ding existiert, wie kommt es dann, daß ich ihn zu jeder beliebigen Zeit sehen kann, daß auch andere Menschen entsprechende Wahrnehmungen haben können? Man könnte wieder antworten: die Wahrnehmungen treten lediglich so auf, als ob das realistische Weltbild des vor- und naturwissenschaftlichen Erkennens im wesentlichen das Richtige träfe. Doch haben wir uns mit dieser extremen Form der Fiktionslehre schon zur Genüge auseinandergesetzt.

Bereits das vorwissenschaftliche Denken dringt gelegentlich zu der auf einzelwissenschaftlichem Boden durchgebildeten Auffassung vor, daß die Sinneswahrnehmungen indirekte Wirkungen von Außenweltsdingen sind, welche durch die Organe unseres Leibes, durch Auge, Ohr usw. vermittelt werden. Die Erfahrung zeigt, wie eine Tastwahrnehmung zustande kommt, wenn z. B. unser Fuß einen Stein berührt, wie zum Sehen außer dem sichtbaren Objekt auch die richtige Einstellung des normalen Auges gehört. Unser Leib mit seinen Sinnesorganen gehört selbst der Außenwelt an, demselben Wirklichkeitskreise wie die Bäume und Steine, welche wir sehen und tasten; denn auch unser Leib ist für uns sichtbar und tastbar. So ergibt sich die Auffassung, daß unser Leib ein Außenweltsding unter anderen sei, jedoch zu unserem Bewußtsein, insbesondere zu den Sinneswahrnehmungen in eigenartiger, enger Beziehung stehe; der Leib nimmt mit seinen Sinnesorganen Wirkungen von Außenweltsdingen auf und vermittelt so deren Wahrnehmung. Die Mitwirkung, die Vermittlerrolle der leiblichen Sinnesorgane erklärt im einzelnen vielfach Eigenart, Auftreten und Wechsel der Wahrnehmungen. Sie macht uns z. B. das Kommen, Gehen und Wiederkehren von Gesichtswahrnehmungen verständlich, wie wir es beim Um- und Zurückwenden erleben.

Die einzel- (und zum Teil bereits vor-) wissenschaftliche Annahme, daß ein kompliziertes Außenweltsetwas, der Leib mit seinen Sinnesorganen, die

Sinneswahrnehmungen vermittelt und beeinflußt, leistet so Außerordentliches für die Bestimmung, für Erklärung und Vorhersage der Sinneswahrnehmungen, daß wir auch sie als prinzipiell berechtigt annehmen werden. Es ist nicht ersichtlich, wie ohne diese Annahme der beständige Wechsel der Sinneswahrnehmungen im Einzelnen bestimmt und zum Teil vorausgesagt, wie er kausal verstanden werden könnte. —

Der vor- und der einzelwissenschaftliche Realismus nicht in jeder Beziehung zutreffend.

Freilich ergibt sich aus der Bewährung des vor- und des einzelwissenschaftlichen Realismus nicht, daß sie in jeder Beziehung zutreffend sein müssen. Das erscheint ja von vornherein ausgeschlossen, da der vorwissenschaftliche und der naturwissenschaftliche Realismus erheblich verschieden sind. Der naive Realismus überträgt die sekundären oder Empfindungsqualitäten ohne weiteres auf die Außenwelt; der physikalische Realismus setzt andere, etwa raum-zeitliche Bestimmungen, wie Schwingungsbewegungen, an deren Stelle. Beide Formen des Realismus können nicht zugleich bestehen, und es kann kein Zweifel sein, daß das physikalische, allgemeiner das naturwissenschaftliche Bild der Außenwelt im Bestimmen und Voraussagen der Sinneswahrnehmungen dem vorwissenschaftlichen vielfach überlegen ist. Andererseits ist das naturwissenschaftliche Bild der Gesamtnatur nichts Abgeschlossenes, schlechthin Vollendetes, sondern es erfährt immer neue Bereicherungen, Verfeinerungen und Korrekturen, wie es ja im ganzen als eine Fortbildung des naiv-realistischen Bildes erscheint.

Fortsetzung. Ablehnung der sekundären Qualitäten. Übergang vom naiven zum physikalischen Realismus. Wir haben bereits dargelegt, wie sich die Ablehnung der sekundären Qualitäten ergeben hat (vgl. S. 66f.). Auf Grund unserer neuen Untersuchung der Außenweltsfrage haben wir gegen die Übertragung der sekundären Qualitäten auf die Außenweltsrealitäten zunächst einzuwenden, daß sie überflüssig und unbegründet erscheint. Die bewußtseins-transzendenten Realitäten sind so zu bestimmen, daß unsere Sinneswahrnehmungen ihre Ursachen erhalten. Unsere Rotempfindung muß eine Ursache in der Außenwelt haben; aber da die Ursachen den Wirkungen nicht gleich oder ähnlich zu sein brauchen, liegt kein Anlaß zu der naiv-realistischen Annahme vor, daß die Ursache der Rotempfindung dem empfundenen Rot gleich oder ähnlich sein müsse. Das Gleiche gilt von allen Empfindungsqualitäten, von Farben, Tönen, Geschmäcken usw. Es ist anzunehmen, daß ihnen bewußtseins-transzendente Ursachen entsprechen, nicht aber, daß diese den Empfindungsqualitäten gleich oder ähnlich sind.

Subjektivität der Sinnesqualitäten.

Nun bliebe allerdings immer noch die Möglichkeit einer solchen Gleichheit oder Ähnlichkeit zwischen bewußtseins-transzendenten Ursachen und Wahrnehmungswirkungen bestehen. Man könnte ferner darauf hinweisen, daß ein starker natürlicher Glaube auf seiten der Annahme steht, daß z. B. die Ursache der Rotempfindung dieser Empfindung gleich oder ähnlich ist, daß die Rose auch in der Außenwelt etwa so rot ist, wie wir sie sehen. Diesem natürlichen Glauben stellt sich aber sofort die Erkenntnis gegenüber, daß insbesondere bei kompliziert vermittelten Wirkungen — und solche liegen in der Sinneswahrnehmung vor — Gleichheit mit den Ursachen im allgemeinen unwahrscheinlich ist.

Darum wird es erklärlich erscheinen, wenn der natürliche, naiv realistische Glaube an die Übereinstimmung von Außenweltsursache und Wahrnehmungswirkung zu Schwierigkeiten führt. So z. B. erscheint dasselbe Wasser der heißen Hand kühl, der kalten jedoch nicht kühl, sondern eher lau; die hieraus sich für den naiven Realismus ergebende Schwierigkeit verschwindet, wenn man davon absieht, die Sinnesqualitäten auf die Außenwelt zu übertragen; es ist ja nicht erstaunlich, wenn dieselbe bewußtseins-transzendente Teilursache unter verschiedenen Umständen verschiedene Empfindungen, wie kühl und lau, bewirkt.

Auch der physikalische Realismus nimmt in der Außenwelt Ursachen unserer Sinnesqualitäten an; aber er läßt sie den letzteren nur entsprechen, nicht jedoch gleich oder ähnlich sein. Die Sinnesempfindungen werden so zu „Zeichen" von Außenweltsursachen, wie v. Helmholtz es ausdrückt.

Die Sinnesempfindungen als Zeichen von Außenweltsursachen.

Natürlich bleibt es trotzdem möglich, daß es auch in der Außenwelt Qualitäten gibt, die unseren Empfindungsqualitäten verwandt sind. Der physikalische Realismus hat keinen Grund dazu, diese dem natürlichen, naiv-realistischen Glauben entgegenkommende Annahme direkt auszuschließen. Fechner hat eine Verbindung der naiv-realistischen Annahme mit dem physikalischen Realismus zur Grundlage seiner Weltanschauung, der „Tagesansicht", gemacht.

Fortsetzung. Beibehaltung primärer Qualitäten. Die räumlichen Eigenschaften. Der physikalische und der kritische Realismus. Zu den primären Qualitäten rechnete Locke neben den raum-zeitlichen auch Zahlbestimmungen. Es wurde schon angedeutet, daß letztere im Prinzip auf Außenweltsrealitäten anwendbar sind. In der Tat, wollten wir diese „primären Qualitäten", die Zahlbestimmungen, aus dem vor- und einzelwissenschaftlichen Außenweltsbilde entfernen, so würde die Leistungsfähigkeit zur Festlegung der Sinneswahrnehmungen ungeheueren Schaden leiden. Hier handelt es sich nicht, wie bei den sekundären Qualitäten, um Bestimmungen, die als überflüssige Belastung des Bildes erscheinen. Daß einer Anzahl aufeinanderfolgender Tonwahrnehmungen auch eine Anzahl bewußtseins-transzendenter Ursachen entspricht, ist eine für den Aufbau des Außenweltsbildes nicht wohl zu entbehrende Annahme.

Wir haben ferner schon gesehen, daß wir zeitliche Bestimmungen auf die Außenwelt übertragen dürfen. Die Kausalbeziehungen zwischen Außenweltsrealitäten und Sinneswahrnehmungen rechtfertigen diese Übertragung ohne weiteres.

Gegen die Objektivität der räumlichen Eigenschaften.

Etwas anders liegt die Frage bei den räumlichen Bestimmungen. Der physikalische Realismus schreibt den Außenweltsdingen räumliche Eigenschaften zu. Wir haben uns aber schon verdeutlicht, daß dies leicht als Inkonsequenz erscheinen kann, wenn man unsere Kritik der Übertragung der Empfindungsqualitäten auf die Außenweltsdinge betrachtet. Wie die Außenweltsursachen mit den durch sie bewirkten Sinneswahrnehmungen nicht die Empfindungsqualitäten gemeinsam zu haben brauchen, so brauchen sie auch nicht räumlichen Charakter zu tragen, wie unsere Gesichts- und Tastwahrnehmungen körperlicher Dinge. Die räumlichen Eigenschaften der Sinneswahrnehmungen

sind als durch die Außenweltsursachen bedingt anzusehen, so weit dabei nicht mitbedingende Bewußtseinsumstände im Spiele sind. Es muß in der Außenwelt begründet sein, wenn uns dieser Körper rund, jener eckig, wenn uns der eine hier, der andere dort erscheint. Den räumlichen Unterschieden und Besonderheiten muß in der Außenwelt etwas entsprechen oder zugrunde liegen, wie auch den Empfindungsunterschieden- und besonderheiten. Aber wie das der Empfindung zugrunde Liegende dieser nicht gleich oder ähnlich zu sein braucht, so braucht auch das einer räumlichen Besonderheit der Wahrnehmung Entsprechende dieser nicht gleich oder ähnlich zu sein. Es scheint also, als ob der Übertragung räumlicher Eigenschaften auf die Außenwelt das gleiche Schicksal widerfahren müsse, wie der naiv-realistischen Ansicht bezüglich der Empfindungsqualitäten.

Andererseits erscheint aber die Beibehaltung der räumlichen Qualitäten für den physikalischen Realismus notwendig. Wenn er nicht mehr von so oder so gestalteten Körpern, hier oder dort im Raume, in diesem oder jenem Bewegungs- d. h. Ortsveränderungszustande reden darf, so scheint er ganz unmöglich zu werden. Gerade der Beibehaltung der räumlichen Eigenschaften der Außenwelt scheint er seine Erfolge in der kausalen Bestimmung der Sinneswahrnehmungen zu verdanken.

Hier weist nun die oben angedeutete Zeichentheorie einen Ausweg aus den Schwierigkeiten. Die räumlichen Unterschiede und Besonderheiten in der Wahrnehmung sind Zeichen entsprechender (wenn auch nicht gleicher) Unterschiede und Besonderheiten in der Außenwelt. Dem räumlichen Verhältnis entspricht ein besonderes Verhältnis in der Außenwelt. Den Unterschieden des Oben und Unten, des Links und Rechts, des Vorne und Hinten liegen entsprechende Verhältnisse in der Außenwelt zugrunde; dasselbe gilt von Groß und Klein usw.

Diese den räumlichen Verhältnissen in der Wahrnehmung zugrunde liegenden Außenweltsverhältnisse mögen ganz eigenartig sein. Wir brauchen von dieser ihrer Eigenart gar nichts weiter zu wissen; es genügt anzunehmen, daß sie den räumlichen Verhältnissen unserer Anschauung korrespondieren. Wir können dann im übertragenen Sinne auch von räumlichen Verhältnissen, von oben und unten, groß und klein usw. bei Außenweltsobjekten reden. Wir betrachten nicht einfach den Raum der Wahrnehmung als eine dem Außenweltsraume gleiche oder ähnliche Repräsentation desselben; aber der Wahrnehmungsraum ist ein „*phaenomenon bene fundatum*", um einen Leibnizschen Ausdruck anzuwenden. Die räumlichen Beziehungen in der Wahrnehmung geben im übertragenen Sinne räumlich zu nennende Beziehungen in der Außenwelt wieder. Die ersteren bilden die letzteren nicht in dem Sinne ab, in dem eine Photographie ihr Objekt abbildet; aber es liegt eine Abbildung, eine Repräsentation im weiteren Sinne vor.

Berechtigung, im übertragenen Sinne von räumlichen Eigenschaften der Außenweltsobjekte zu sprechen.

Damit erhält der physikalische Realismus eine Umdeutung, die ihm nichts von seiner Leistungsfähigkeit nimmt und ihn doch vor dem angeführten Angriffe sichert. Wir können fortfahren, den Außenweltsrealitäten räumliche Be-

stimmungen beizulegen, wie es im vor- und naturwissenschaftlichen Erkennen geschieht. Wir tun dies aber in einem übertragenen, vorsichtigen Sinne. Die räumlichen Beziehungen in der Sinneswahrnehmung sind uns nur Zeichen korrespondierender Beziehungen in der Außenwelt. Wir fordern jedoch nicht, daß das „Nebeneinander" in der Außenwelt dem Nebeneinander in der Gesichts- und Tastwahrnehmung gleichartig sei. Man mag dies immerhin für möglich halten; man kann wiederum darauf hinweisen, daß ein natürlicher Glaube vorliegt; doch hat der naturwissenschaftliche Realismus kein Interesse daran, diese unnötig spezielle Annahme festzuhalten. Sie stellt ebenso eine entbehrliche und unbeweisbare Belastung des Realismus dar, wie die Beibehaltung der sekundären Qualitäten.

Den so von überflüssiger Spezialisierung, die für seine Leistungsfähigkeit keinerlei Vorteil bringt, befreiten Realismus der Zeichentheorie dürfen wir als kritischen Realismus bezeichnen. Der kritische Realismus.

Man wird es vielleicht bedenklich finden, wenn Raum und Zeit, die in philosophischen Betrachtungen so häufig koordiniert worden sind, in unserem kritischen Realismus eine verschiedene Behandlung erfahren: die Zeit wird ohne weiteres auf die Außenwelt übertragen, der Raum dagegen nur in übertragenem Sinne. Doch ist darauf hinzuweisen, daß Raum und Zeit auch in unserer unmittelbaren Erfahrung eine recht verschiedene Rolle spielen. Allen Bewußtseinserlebnissen kommen zeitliche Bestimmungen zu; dagegen haben nur gewisse Erlebnisse, Sinneswahrnehmungen, räumlichen Charakter. Wir können uns daher den Gedanken einer unräumlichen Welt von „Dingen-an-sich", die unsere Wahrnehmungen verursachen, leicht verdeutlichen; wir brauchen nur an die Welt von unräumlichen Gedanken und Gefühlen in uns zu denken, um eine Analogie zu haben. Für die Auffassung einer unzeitlichen Welt, die also weder jetzt noch früher noch später, weder momentan noch von endlicher oder unendlicher Dauer wäre, fehlt uns jede verdeutlichende Analogie — abgesehen davon, daß Realitäten-an-sich, die Sinneswahrnehmungen in der Zeit bewirken, selbst mit diesen ihren Wirkungen in der Zeit sein müssen. Man könnte sonst ja daran denken, den zeitlichen Verhältnissen lediglich korrespondierende, nicht aber gleichartige Verhältnisse im Bewußtseinstranszendenten zugrunde zu legen; wir hätten so nur im übertragenen Sinne eine Außenweltszeit, gerade so wie wir nur im übertragenen Sinne einen Außenweltsraum annehmen. Die Bestimmung der Sinneswahrnehmungen durch diese nur im übertragenen Sinne zeitlichen Dinge-an-sich wäre dann auch nur im übertragenen Sinne als eine kausale zu bezeichnen.

Wer diese dem Phänomenalismus noch etwas näher stehende Ausgestaltung des kritischen Realismus vorzieht, wird sie mit dem Folgenden durchaus vereinigen können. Wie wir die räumlichen Ausdrücke bei ihrer Anwendung auf Außenweltsverhältnisse im übertragenen Sinne nehmen, so muß alsdann auch jede die Außenwelt betreffende zeitliche Bestimmung übertragen aufgefaßt werden.

Der gewöhnliche physikalische Realismus entfernt sich vom naiven Realismus und kommt dem Phänomenalismus einen Schritt entgegen. Der kritische

Realismus nähert sich dem Phänomenalismus noch etwas mehr. Er erkennt Berechtigtes in den phänomenalistischen Argumenten an, ohne etwas von den Vorzügen des physikalischen Realismus zu opfern.

Der kritische Realismus und die Metageometrie. Durch Untersuchungen von Legendre, Gauß, Lobatschewsky, Bolyai, Riemann, Helmholtz, Beltrami u. v. a. ist die sogenannte nicht-euklidische oder Metageometrie vorbereitet, begründet und ausgebaut worden, deren Lehren nicht ohne Bedeutung für den Ausbau unserer realistischen Raumauffassung sind. Nach Begründung der Metageometrie erscheint die gewöhnliche, euklidische Geometrie, die wir als Schüler kennen gelernt, nur als ein Spezialfall aus anderen denkmöglichen Geometrien. An dem System von Axiomen, auf dem die euklidische Geometrie beruht, können Änderungen vorgenommen werden, so daß den veränderten Axiomsystemen neue, nicht-euklidische Geometrien entsprechen.

Welche Geometrie entspricht dem „wirklichen" Raum?

Wenn es nicht nur eine Geometrie gibt, so muß die Frage aufgeworfen werden, welche Geometrie dem „wirklichen" Raum (den wir hier zunächst im Sinne des naiven oder physikalischen Realismus auffassen wollen) entspricht. Je nach den Axiomen, von denen man ausgeht, muß man nämlich dem Raume verschiedene Eigenschaften zuschreiben; man kann z. B. zu dem Resultate gelangen, daß der Raum zwar ohne Grenze, aber endlich sei, wenn man eine geeignete Modifikation der euklidischen Grundlagen annimmt. Nur die Erfahrung scheint lehren zu können, ob der wirkliche Raum den Axiomen und Ergebnissen der euklidischen oder irgendeiner Form der nicht-euklidischen Geometrie entspricht.

Nun hat man seit der Begründung der euklidischen Geometrie diese in zahllosen Fällen mit gutem Erfolge auf die Erfahrungstatsachen angewandt; auch bei den genauesten Messungen scheinen die wirklichen räumlichen Verhältnisse den euklidisch-geometrischen zu entsprechen. Trotzdem sind Bedenken gegen die zunächst als selbstverständlich erscheinende Überzeugung möglich, daß der wirkliche Raum ein euklidischer sei. Denn die Messungsergebnisse an wirklichen räumlichen Dingen sind nie absolut genau, und überdies wäre es denkbar, daß wir im Sinne der Konventionslehre den wirklichen Raum als einen euklidischen auffassen, obgleich wir dazu nicht gezwungen sind.

Die euklidische Geometrie fordert z. B., daß die Summe der drei Dreieckswinkel 180° betrage. Man kann mit dem Winkelmaß leicht sich davon überzeugen, daß wirkliche Dreiecke dieser Forderung entsprechen. Indessen die exaktesten Winkelmeßinstrumente ergeben nur eine begrenzte Genauigkeit der Messung, und es bleibt die Möglichkeit bestehen, daß der euklidische Satz von der Dreieckswinkelsumme doch nicht ganz genau gilt. Die Abweichungen von den Sätzen der euklidischen Geometrie könnten so gering sein, daß sie sich bei allen Messungen und Rechnungen, die irdische Dimensionen betreffen, der Feststellung entziehen müßten. Es wäre aber möglich, daß in der Astronomie, die mit ganz anderen Größenverhältnissen rechnen muß, der Fehler einmal zutage treten könnte. — Eine einfache Änderung des Axiomsystems der euklidischen

Geometrie bringt die Konsequenz mit sich, daß der Raum endlich sein müsse. In einem solchen endlichen nicht-euklidischen Raume können die Abweichungen von den euklidischen Sätzen so gering sein, daß sie bei unseren Messungen verborgen bleiben; der betreffende Raum könnte immerhin ungemein groß sein. Nun gibt es in der Tat manche astronomischen Gedankengänge, die für eine Endlichkeit der uns zugänglichen Sternenwelt sprechen. Da liegt es dann nahe, eine Endlichkeit der Körperwelt anzunehmen und diese mit einer Endlichkeit des Raumes in Zusammenhang zu bringen. Es wurde schon erwähnt, daß ein endlicher nicht-euklidischer Raum doch unbegrenzt sein kann. Der naheliegende Einwand ist also hinfällig, daß der Raum nicht endlich sein könne (selbst wenn die Körperwelt es wäre), weil die Endlichkeit des Raumes eine Begrenztheit desselben voraussetze, und weil hinter jeder Grenze der Raum sich weiter erstrecken müsse. Wie eine Kugelfläche von endlicher Größe ist und doch keine Grenze hat, solange wir in der Fläche selbst bleiben, so kann auch ein nicht-euklidischer Raum endlich sein, ohne eine Grenze zu haben.

Zur Untersuchung der Berechtigung jener astronomischen Gedankengänge ist hier nicht der Ort, da es sich nicht um allgemein erkenntnistheoretische, sondern um naturwissenschaftliche Überlegungen handelt; überdies sind sie nichts weniger als zwingend, so beachtenswert und geistvoll sie sein mögen. Hier war nur zu verdeutlichen, daß trotz aller Bewährung die Annahme, der wirkliche Raum sei ein euklidischer, nicht völlig gesichert erscheint.

Eine konventionalistische Überlegung ändert und kompliziert aber die Problemlage noch mehr. Wir wollen uns vorstellen, daß unsere Winkelmeßinstrumente ungemein verfeinert werden, und daß wir so schließlich einmal bei einer Ausmessung der Dreieckswinkelsumme zu einem Ergebnis kommen, welches dem euklidischen Satze nicht genau entspricht; statt 180° ergebe sich ein um winzige Bruchteile einer Sekunde größerer Betrag. Dieses Resultat wäre nun leider nicht schlechthin eindeutig; es zwänge uns nicht, die euklidische Geometrie aufzugeben. Wir könnten vermuten, daß durch die Herumführung des Meßinstrumentes, welche bei der Ausmessung der Dreieckswinkel stattfindet, an dem Apparat kleine Änderungen hervorgerufen werden, die den winzigen Fehler mit sich bringen. Durch derartige oder andere Vermutungen könnten wir den euklidischen Satz gegen Angriffe verteidigen. Solche Aushilfen sind auch angesichts der angedeuteten astronomischen Überlegungen möglich. Wenn wir dies berücksichtigen, so erscheint der euklidische Charakter des wirklichen Raumes in einer eigentümlichen Beleuchtung. Wir können eigentlich nicht mehr behaupten, unser Raum sei wirklich euklidisch; wir dürfen nur sagen: wir konnten die Annahme, der Raum sei euklidisch, bisher ohne Schwierigkeit durchführen. Diese Annahme ist einfacher und näherliegend als metageometrische Systeme, die an sich auch unseren Raumerfahrungen gerecht werden könnten. Es ist eine einfache, überaus bequeme und bewährte Konvention (die wie die Astronomie auch die Physik betrifft), wenn wir den wirklichen Raum als einen euklidischen betrachten.

Konventionslehre.

Einschränkung der Konventionslehre.

Indessen sind auch hier die konventionalistischen Auffassungen nur in gemäßigter Form haltbar. Es ist keineswegs reine Willkür, wenn wir zur wissenschaftlichen Bearbeitung der Raumerfahrungen die euklidische Geometrie benutzen. Ob sie dem wirklichen Raume mit absoluter Genauigkeit entspricht, kann allerdings nicht entschieden werden. Sie paßt sich aber jedenfalls unseren Raumerfahrungen ganz vorzüglich an. Wenn einmal bei feineren und ausgedehnteren Messungen Abweichungen gegenüber den Sätzen des euklidischen Systems sich ergeben sollten, so würden die Forscher vielleicht zunächst bemüht sein, die euklidische Geometrie des wirklichen Raumes durch allerhand Hilfshypothesen zu retten. Schließlich aber würde man sich wohl entschließen, sie zugunsten eines nicht-euklidischen Raumes aufzugeben, wenn die Abweichungen sich häufen würden, wenn sich zeigen würde, daß eine nicht-euklidische Geometrie der verfeinerten Raumerfahrung besser entspräche. Wenn also die Anwendung der euklidischen Geometrie auf den wirklichen Raum möglicherweise zum Teil auf Konvention beruht, so ist sie doch keineswegs völlig willkürlich. Das euklidische Axiomsystem ist jedenfalls dem wirklichen Raume vorzüglich angepaßt; es wird ihm mit weitgehender Genauigkeit gerecht. Wenn es einmal dazu kommen sollte, daß für manche, etwa astronomische Zwecke eine nicht-euklidische Geometrie Anwendung finden wird, so wird für die irdischen Größenverhältnisse die euklidische Geometrie doch immer ihre praktische Bedeutung behalten.

Es wird angebracht erscheinen, an dieser Stelle daran zu erinnern, daß auch die Annahme absoluter (etwa kausaler) Weltgesetzmäßigkeit nicht bewiesen werden kann. Auch zu ihren Gunsten ist zu sagen, daß sie sich wohl bewährt, daß sie sich den Erfahrungstatsachen vorzüglich anschmiegt. Wir haben aber gesehen, daß die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann, daß etwas Konventionelles in der Annahme strenger Gesetzmäßigkeit des ganzen Weltgeschehens liegt. Möglicherweise deuten wir die Erfahrung nur so, daß strenge Gesetzmäßigkeit vorzuliegen scheint, während die Wirklichkeit nicht mit absoluter Genauigkeit sich überall strengen Gesetzen fügt. Bei der Anwendung der euklidischen Geometrie auf den wirklichen Raum könnte eine ähnliche Sachlage bestehen. Möglicherweise deuten wir die räumlichen Erfahrungen nur im Sinne der euklidischen Sätze, während die Wirklichkeit ihnen nicht absolut entspricht.

Wir haben in diesem Abschnitt bisher vom wirklichen Raume im Sinne des naiven oder physikalischen Realismus gesprochen. Unsere Überlegungen können aber leicht im Sinne des kritischen Realismus umgedeutet werden, da den räumlichen Verhältnissen, wie die Erfahrung sie uns bietet, transzendent-räumliche Verhältnisse korrespondieren. Wenn die Messung den Satz der euklidischen Geometrie bestätigt, daß die Dreieckswinkelsumme 180° beträgt, so muß dieser Sachverhalt in transzendent-räumlichen Verhältnissen begründet sein. Der Dreieckigkeit, der Winkelgröße usw. werden bestimmte transzendent-räumliche Verhältnisse entsprechen. Wenn die Astronomie zu der Anschauung führen sollte, daß der Erfahrungsraum endlich ist, so wird dies auf die transzendente

Räumlichkeit übertragbar sein. Vielleicht verliert die Anwendung metageometrischer Ergebnisse auf die reale Welt etwas von der ihr anhaftenden Paradoxie, wenn man im Sinne des kritischen Realismus annimmt, daß der „wirkliche" Raum, d. h. die transzendente Grundlage unserer Raumerfahrungen, von den räumlichen Bestandteilen der Wahrnehmung wesentlich verschieden sein kann.

Relativität der Außenweltserkenntnis. Zeichen-, Bilder- und Fiktionshypothese. Für den kritischen Realismus sind die Sinneswahrnehmungen, und zwar sowohl die Empfindungen wie die räumlichen Besonderheiten der ersteren, nur Zeichen von bewußtseins-transzendenten Besonderheiten, in ähnlichem Sinne wie geschriebene Buchstaben oder Noten Zeichen für Laute oder Töne sind; sie sind jedoch nicht Abbilder von Transzendentem, die diesem gleichen müssen, wie eine Porträtstatue (etwa eine polychrome) der dargestellten Person gleicht. Die auf unseren Wahrnehmungen fußende Erkenntnis der transzendenten Welt kann nicht die Realitäten derselben wiedergeben, wie sie an sich sind, aber sie kann Außenweltsbesonderheiten festlegen, indem sie diese zu anderen in Relation bringt. Für den naiven Realisten ist z. B. ein warmer Körper so „warm", wie er ihn fühlt, auch wenn niemand ihn berührt; der physikalische Realismus lehrt, daß in der Außenwelt von Wärme im Sinne der Empfindungsqualität nicht die Rede sein kann, daß letzterer vielmehr im Transzendenten Bewegungsprozesse zugrunde liegen. Der kritische Realismus betont, daß diese „Bewegungen" nicht den Bewegungen in unserer Sinneswahrnehmung gleichartig zu sein brauchen, da der Ortsunterschied in der Sinneswahrnehmung vom „Ortsunterschied", der ihm in der Außenwelt zugrunde liegt, recht verschieden sein kann. Trotzdem verliert die Aussage des physikalischen Realismus über das Wesen der Wärme nicht ihren Sinn. Sie bedeutet für den kritischen Realisten, daß das der Wärmeempfindung entsprechende Außenweltsetwas den Außenweltsvorgängen gleichartig ist, die unseren Wahrnehmungen von Bewegungen zugrunde liegen. Jene „mechanische" oder „kinetische" Wärmetheorie der Physik bestimmt also das Wesen der Wärme, indem sie es zum Wesen der Bewegung in Beziehung setzt. Der kritische Realismus führt somit zu einer lediglich „relativen" Erkenntnis der Außenweltsrealität, die wir als Wärme bezeichnen, weil sie der Wärmeempfindung zugrunde liegt. Ein Gleiches gilt von der Erkenntnis aller Außenweltsrealitäten. Hierin liegt die Relativität der Außenweltserkenntnis.

Sinn der „Relativität" der Außenweltserkenntnis.

Ähnliche Überzeugungen hat man zuweilen zum Ausdruck bringen wollen, indem man sagte, die Naturwissenschaft könne nicht die Außenwelt wiedergeben, wie sie ist, sondern nur ein Bild derselben liefern. Diese Betonung des „Bild"-Charakters unserer Naturerkenntnis ist indessen vieldeutig, weil dies von der Bezeichnung Bild gilt. Man kann ja die vollständigste und genaueste Wiedergabe eines Wirklichen als Bild bezeichnen. Die Vertreter der Bilderhypothese wollen aber gerade sagen, die Wissenschaft gebe „nur" ein Bild oder Modell der Natur, d. h. sie erfasse diese nicht so, wie sie sei, sondern gebe nur eine mehr oder weniger fiktive Repräsentation. Es sei nur zu fordern, daß aus dem Bilde der Natur (bzw. den Einzelbildern, die besondere Naturerscheinungen, z. B.

Bilderhypothese.

die elektrischen, repräsentieren) sich Konsequenzen ableiten lassen, welche durch die Erfahrung bestätigt werden; im übrigen aber sei nicht nach der Wahrheit des Bildes oder der Theorie zu fragen. Wenn eine Theorie der Elektrizität die Erscheinungen gut verbildliche und gar neue Beobachtungen voraussagen lasse, so sei sie legitimiert; man brauche jedoch nicht zu glauben, daß sie das Wesen der Elektrizität wiedergebe. Unter Umständen könnten also zwei leistungsfähige, aber miteinander unvereinbare Theorien zugleich Anerkennung finden — was freilich nicht alle Anhänger der Bilderhypothese hervorheben.

Zur Beurteilung derselben. Nach unseren früheren Darlegungen ergibt sich leicht unsere Stellungnahme zu dieser Auffassung. Die Naturerkenntnis liefert in gewissem Sinne „nur“ ein Bild der Natur; denn sie kann die Außenweltsrealitäten nicht einfach so wiedergeben, wie sie an sich sind. Doch handelt es sich nicht lediglich um ein Bild im Sinne einer Fiktion. Fiktionen können zwar gelegentlich zu richtigen Voraussagen führen, da man, wie Überlegung und Erfahrung dartun, selbst aus Falschem Richtiges ableiten kann. Indessen liefern „nur“ fiktive, also unzutreffende Annahmen doch vor allem unzutreffende Folgerungsergebnisse; wenn daher die Konsequenzen eines „Naturbildes“ immer wieder Bestätigung finden, so wird man annehmen dürfen, daß es in der Hauptsache nicht fiktiv, sondern zutreffend ist, also die Wahrheit darstellt. In nebensächlichen Dingen kann trotzdem in dem Bilde Fiktives, Unzutreffendes vorhanden sein. So haben wir gesehen, daß der physikalische Realismus, dessen Leistungen wir bewundern, bezüglich der primären Qualitäten mit einer überflüssigen, wenn man so will „fiktiven“ Annahme belastet ist, die indessen seine Konsequenzen für unsere Erfahrung für gewöhnlich in keiner Weise beeinflußt. Solche „Überbestimmtheit“, solche Belastung von Hypothesen mit unnötig speziellen Annahmen, stellt einen häufig vorkommenden Fehler der Hypothesenbildung dar. Huyghens traf Richtiges mit der Annahme, daß das Licht eine Wellenbewegung darstelle. Darum ergaben sich verifizierbare Konsequenzen. Aber die Hypothese wurde zunächst überbestimmt; man dachte an Longitudinalwellen, an Schwingungen in der Richtung des Strahles, und darum versagte die Hypothese gegenüber neuen Erfahrungen, den Polarisationserscheinungen, bis man den unzutreffenden Bestandteil durch die richtige Annahme transversaler, auf dem Strahl senkrecht stehender Schwingungen ersetzt hatte. In ähnlicher Weise mag manche bewährte Hypothese im einzelnen überbestimmt, unzutreffend oder fiktiv sein, obwohl sie im wesentlichen Richtiges trifft. Das ist kein Grund, in allen Hypothesen und schließlich in der ganzen Naturerkenntnis „nur“ ein Bild im Sinne einer Fiktion zu erblicken. Natürlich wird man sich bemühen, jene unnötigen Überbestimmtheiten zu vermeiden und zu beseitigen. Oft machen erst neue Beobachtungen, die sich der Hypothese nicht fügen wollen, auf solche Überbestimmtheiten, die etwa infolge von Analogien gar zu leicht sich ergeben, aufmerksam; die Hypothese wird dann nicht zerstört, sondern korrigiert und ausgebaut. Die Analogie mit den longitudinalen Schallwellen legte den Gedanken nahe, daß auch das Licht eine longitudinale Wellenbewegung darstelle; die Polarisationserscheinungen machten auf den Fehler

aufmerksam und veranlaßten die Korrektur, bei welcher die Wellentheorie durchaus bestehen blieb. Die geschichtliche Entwicklung der Naturwissenschaft gibt Beispiele in Fülle, an denen man den gleichen Prozeß verdeutlichen kann.

Fiktionen und Hypothesen.

Unter Umständen kann es zweckmäßig sein, mit vollem Bewußtsein bequeme fiktive Annahmen festzuhalten. Eine besonders große Rolle spielen in der Naturwissenschaft vereinfachende Fiktionen (ideales Gas, absolut schwarzer Körper u. dgl.); durch sie wird es möglich, nicht genau faßbare, allzu komplizierte Erscheinungen wenigstens angenähert zu bestimmen. Solche Fiktionen sind durchaus berechtigt, solange man sich über ihren Charakter klar bleibt; sie sind aber von den Hypothesen zu unterscheiden, in denen man den wirklichen Sachverhalt festzulegen versucht. Da wir in unseren Hypothesen nicht alle Details der zu erklärenden Tatsachen erfassen werden, stellen sie immerhin wohl vielfach vereinfachte Bilder des Wirklichen dar; somit ist keine scharfe Grenze zwischen Hypothesen und vereinfachenden Fiktionen zu ziehen.

Wegen ihrer Vieldeutigkeit und ihres Übergleitens in die Fiktionslehre scheint uns die Bilderhypothese nicht ganz unbedenklich. Das Zutreffende an ihr kommt in der Lehre, daß die Wahrnehmung nur Zeichen der Außenweltsrealitäten gibt, und in dem Satze von der Relativität der Außenweltserkenntnis, wie sie der kritische Realismus aufstellt, zum Ausdruck.

Der kritische Realismus und die kinetische Naturauffassung.

Ausblick auf die kinetischen Hypothesen der Naturwissenschaft und die kinetische (mechanische) Naturauffassung. Der kritische Realismus rechtfertigt nicht von vorne herein eine Bevorzugung der räumlichen (und Bewegungs-)Bestimmungen vor den sekundären Qualitäten. Eine solche Bevorzugung liegt aber im Wesen der mechanischen Naturanschauung, die seit der Renaissance in der Naturwissenschaft, besonders in der Physik, eine so große Rolle gespielt hat. Die mechanische Naturanschauung strebt darnach, alle Eigenschaften der Außenweltsdinge als raum-zeitliche Besonderheiten aufzufassen. Insbesondere werden Außenweltsursachen, die unseren Empfindungen zugrunde liegen, als Bewegungen betrachtet: den Schall-, Licht- und Temperaturempfindungen entsprechen Bewegungsvorgänge. Die betreffenden Hypothesen werden am besten als kinetische bezeichnet; wenn man berücksichtigt, daß Grundlagen der Mechanik (Masse, Trägheit) sich neuerdings der Elektrizitätslehre einzuordnen scheinen, und daß es sich beim Licht nicht um mechanisch-elastische, sondern um elektromagnetische Wellenbewegungen handelt, wird man den Ausdruck mechanische Naturauffassung weniger geeignet finden als die treffende Bezeichnung: kinetische Naturauffassung.

Das von der mechanischen oder kinetischen Naturauffassung angestrebte Ziel, alle Naturvorgänge durch kinetische Hypothesen zu erklären und alle Eigenschaften der Außenweltsdinge als raum-zeitliche Besonderheiten aufzufassen, ist nun bisher keineswegs erreicht; wenn auch in der Physik die kinetischen Hypothesen große Erfolge zu verzeichnen haben, so ist von einer einigermaßen durchgeführten kinetischen Auffassung der Lebensprozesse doch jedenfalls gegenwärtig nicht die Rede.

Wir haben schon dargelegt, daß die Argumente, durch welche man die

Bevorzugung der räumlichen Eigenschaften rein spekulativ zu begründen versucht hat, kein entscheidendes Gewicht besitzen (vgl. S. 67 f.). Wir haben zwar die Übertragung sekundärer Qualitäten auf die Außenwelt abgelehnt und letzterer im übertragenen Sinne räumliche Eigenschaften zugeschrieben. Dies bedeutet aber noch keine Bevorzugung der räumlichen vor den Empfindungs-Qualitäten. Denn so gut wir auf dem Standpunkte des kritischen Realismus im übertragenen Sinne etwa von einer „Gestalt" in der Außenwelt reden können, so gut können wir im übertragenen Sinne von einer „Farbe" im Transzendenten sprechen. Unter der „Farbe" wäre dann eben jenes Außenweltsetwas zu verstehen, das unserer Farbempfindung zugrunde liegt. Wie den räumlichen Besonderheiten, so werden auch den Sinnesqualitäten bewußtseins-transzendente Grundlagen korrespondieren.

Der kritische Realismus begründet also keineswegs von vornherein eine Bevorzugung der räumlichen vor den Empfindungseigenschaften. Damit schließt er aber die kinetische Naturauffassung im ganzen und kinetische Hypothesen im einzelnen keineswegs aus. Es wird darauf ankommen, ob die Erfahrung diese Auffassung, solche Hypothesen nahelegt und bestätigt; bei ihr, nicht bei irgendwelchen spekulativen Gründen liegt die Entscheidung. Es ist zuzusehen, was die mechanische oder kinetische Auffassung im Ganzen oder auf Einzelgebieten leistet. Soweit kinetische Hypothesen ein Erscheinungsgebiet am besten erklären und durch befriedigende Verifikation gestützt sind, verdienen sie Anerkennung. Dagegen ist es ein unbegründbares Dogma, wenn von vornherein gefordert wird, die mechanischen bzw. kinetischen Hypothesen müßten unter allen Umständen auf allen Naturgebieten alleinherrschend sein, und die Naturwissenschaft müsse um jeden Preis das Ziel erstreben, alle anderen Eigenschaften auf räumlich-zeitliche zurückzuführen. Nur die fortschreitende wissenschaftliche Erfahrung kann lehren, ob und inwieweit eine solche Zurückführung angängig ist. In jener Forderung könnte sich das menschliche Streben nach Vereinfachung und Vereinheitlichung des Naturbildes in einer allzu radikalen Form offenbaren. Niemand kann *a priori* wissen, ob die Natur so einfach und arm an Eigenschaften ist. Die Teile der Welt, die wir unmittelbar kennen, unsere eigenen Erlebnisse, zeigen eine Fülle verschiedener Qualitäten, nicht nur räumlich-zeitliche Besonderheiten.

Die Erfahrung entscheidet über die Berechtigung der kinetischen Hypothesen.

Der Sinn der kinetischen Hypothesen. Der Sinn der kinetischen Hypothesen ergibt sich nun für den kritischen Realismus aus dem, was über die Relativität der Naturerkenntnis gesagt worden ist. Die Bewegung im Transzendenten mag ein von der Bewegung in der Wahrnehmung ganz verschiedener Vorgang sein. Wenn wir nun Schall, Wärme, Licht usw. auf Bewegungsvorgänge in der Außenwelt zurückführen, so heißt dies: das jenen Erscheinungen zugrunde liegende Transzendente ist gleichartig mit der transzendenten Grundlage, die die Wahrnehmung von Bewegungen verursacht. Wir könnten darum z. B. auch sagen, die langsamen Schwingungen eines Uhrpendels stellen eine Art von Ton dar; denn das den Uhrpendelschwingungen entsprechende Transzendente und das einer Tonwahrnehmung zugrunde liegende Transzendente sind

Kinetische Theorie des Schalles oder akustische Theorie der Bewegung?

gleichartig. So hätten wir eine akustische Theorie mechanischer Schwingungen statt der üblichen mechanischen Theorie der akustischen Erscheinungen. In ähnlicher Weise könnte man der mechanischen Theorie der Wärme (die Wärme ist eine Bewegung der Körpermoleküle) eine Wärmetheorie (kalorische Theorie) mechanischer Bewegungen zur Seite stellen wollen.

Bevorzugung der ersteren.

Indessen erscheint es auch dem kritischen Realisten berechtigt, wenn der Physiker wohl eine kinetische Theorie des Schalles und der Wärme aufstellt, nicht aber eine akustische oder kalorische Theorie der Bewegung. Wie die Sinneswahrnehmung zeigt, gibt es vielerlei Arten von Bewegungen. Die Untersuchung der Schallerscheinungen zeigt nun, daß den akustischen Empfindungen ein Transzendentes zugrunde liegt, das speziell den Schwingungsbewegungen (bzw. ihren transzendenten Grundlagen) gleichartig ist. Darum können wir die akustischen Erscheinungen durch die wohlbekannten Gesetze der Schwingungsbewegungen erklären. Wir können aber nicht gut umgekehrt alle Bewegungen akustisch erklären; denn nur die Schwingungsbewegungen, nicht aber die anderen Bewegungsvorgänge, z. B. die Fall- oder Wurfbewegungen, sind den akustischen Erscheinungen im Transzendenten hinreichend gleichartig. Die Bewegungen (im übertragenen Sinne, d. h. ihre transzendenten Grundlagen oder Korrelate) bilden die allgemeinere Gruppe, der sich die transzendenten Grundlagen der akustischen Empfindungen einordnen.

Es kommt aber noch ein ausschlaggebender Grund hinzu. Wenn ich einen Ton als Schwingungs- bzw. Wellenbewegung von bestimmter Wellenzahl erkenne, so weiß ich, daß das in der Empfindung einfach und konstant Erscheinende im Transzendenten aus sich wiederholenden Teilprozessen besteht, deren jeder der transzendenten Grundlage einer Einzelschwingung gleichartig ist. Damit ist eine *Analyse* der transzendenten Grundlage des Tones geliefert; wir sind tiefer in das Transzendente eingedrungen, kennen es besser, als wenn wir nur wüßten, daß eine besondere transzendente Ursache da sein muß, wenn wir einen Ton hören. Wenn wir aber das sich wiederholende Schwingen des Uhrpendels als dauernden Ton auffassen, weil das dem Ton und das dem Pendelschwingen zugrunde liegende Transzendente gleichartig sind, so läßt diese Auffassung eine Erkenntnis beiseite, die uns bereits die direkte Sinneswahrnehmung gibt: diese lehrt schon, daß es sich um die Wiederholung von Einzelprozessen (Einzelschwingungen) handelt; auch im Transzendenten wird also ein periodischer Vorgang zugrunde liegen. Wenn wir aber das dauernde Schwingen als dauernden Ton auffassen und die kinetische Theorie der Töne beiseite lassen, so geht uns diese Einsicht in den periodischen Charakter jener Grundlage verloren; denn die Tonempfindung ist als solche nicht periodisch, und von vornherein ist es nicht selbstverständlich, daß ihr ein periodischer Vorgang im Transzendenten entsprechen müsse. Während uns also die kinetische (mechanische) Theorie des Schalles belehrt, daß der Tonempfindung ein periodischer transzendenter Vorgang zugrunde liegt, läßt uns die akustische Theorie des Pendelschwingens eher vergessen, was schon die Wahrnehmung fordert: daß auch ihm ein periodischer Vorgang in der Außenwelt entspricht. Die kinetische

Theorie des Schalles führt uns in der Analyse weiter, die akustische Theorie des Pendelschwingens läßt uns wichtige Details eher übersehen, darum ist die erstere so bedeutsam, die letztere hingegen nicht. Auf entsprechenden Gründen beruht die Wichtigkeit der mechanischen (kinetischen) Theorie der Wärme, während eine kalorische Theorie mechanischer Vorgänge, mancher Bewegungen, zwar möglich, aber ohne Bedeutung ist.

Historisch ist das Vorwiegen der mechanischen (kinetischen) Theorien zum Teil dadurch zu erklären, daß die Mechanik den am frühesten entwickelten Teil der Physik darstellt. —

Wenn die Physik eine elektromagnetische Theorie des Lichtes, nicht aber eine optische Theorie der Elektrizität und des Magnetismus entwickelt, so kommen wiederum einfache Gründe in Betracht. Die optischen Erscheinungen ordnen sich als eine Spezialgruppe den elektromagnetischen ein. Übrigens hat die Einsicht in die Gleichartigkeit optischer und elektromagnetischer Vorgänge auch die Erkenntnis der letzteren erheblich gefördert. Jene Einsicht gab den Anstoß zu überaus wichtigen Versuchen und Beobachtungen über elektrische Wellen, die sich an ältere Versuche und Beobachtungen über Lichtwellen anlehnten. Man könnte also wohl von Erfolgen einer optischen Theorie elektrischer Schwingungen sprechen. —

Das Erkennen unwahrnehmbarer Außenweltsrealitäten. Vermehrung und Erweiterung unserer Sinne. Die Sinneswahrnehmungen gelten uns als Zeichen, welche durch Außenweltsrealitäten verursacht werden. Letztere werden also aus ihren Wirkungen erkannt. Wenn wir eine Veränderung einer Sinneswahrnehmung erleben, für welche bewußtseins-immanente Ursachen nicht zu finden sind, so werden wir annehmen, daß ihr eine Veränderung in der Außenwelt zugrunde liegt. Diese transzendente Veränderung muß ihrerseits eine Ursache haben. Oft offenbart letztere sich selbst durch besondere Wahrnehmungswirkungen; so z. B. wenn wir als Ursache des Verlöschens einer Kerze die auslöschende Bewegung einer Hand erblicken. Zuweilen aber wird die Ursache einer transzendenten, sich in der Wahrnehmung manifestierenden Veränderung nicht ihrerseits in der Wahrnehmung offenbar, d. h. sie ruft nicht ihrerseits direkt eine Sinneswahrnehmung als Wirkung hervor; so liegen die Verhältnisse, wenn z. B. ein nicht wahrgenommener Luftstrom eine Kerze auslöscht. In solchen Fällen müssen wir natürlich Ursachen jener Veränderung fordern und dem Charakter der letzteren entsprechend bestimmen.

Annahme und Bestimmung „nicht-wahrgenommener" Außenweltsrealitäten.

Die Ansetzung und Bestimmung „unwahrgenommener" (d. h. sich nicht in der Wahrnehmung manifestierender) Ursachen von bewußtseins-transzendenten Wirkungen bildet eine Aufgabe, die im Prinzip dem Problem des Erkennens der transzendenten Ursachen der Sinneswahrnehmungen ganz analog ist. Denn auch im letzteren Falle, bei der Bestimmung der „wahrgenommenen" Außenweltsrealitäten, handelt es sich um eine Erkenntnis aus den Wirkungen. Nur im übertragenen Sinne können wir Außenweltsrealitäten als „wahrgenommen" bezeichnen, wenn sie Sinneswahrnehmungen bewirken. Bezüglich der

Erkennbarkeit „unwahrnehmbarer“ Außenweltsrealitäten gilt also im wesentlichen das bereits über die Erkennbarkeit der Außenwelt überhaupt Gesagte. Die Relativität der Außenweltserkenntnis versteht sich auch hier wieder fast von selbst, da es sich um die Bestimmung von Ursachen aus den Wirkungen handelt. Die „nicht wahrgenommenen“ transzendenten Tatsachen sind hypothetisch so anzusetzen, daß sie die Wirkungen erklären und das Kausalgesetz befriedigen.

Umgekehrt sind, wiederum zur Befriedigung des Kausalprinzips, vielfach „unwahrgenommene“ transzendente Wirkungen „wahrgenommener“ transzendenter Ursachen zu bestimmen. Allgemein werden der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung entsprechend „unwahrgenommene“ Außenweltsrealitäten angesetzt und hypothetisch bestimmt. So nähern sich die Realwissenschaften immer mehr dem Ziele, eine Realität zu erfassen, die die Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung befriedigt.

Die Feststellung unwahrgenommener Außenweltsrealitäten durch ihre Wirkungen spielt in der Naturerkenntnis eine überaus wichtige Rolle; sie ermöglicht eine sehr erhebliche Erweiterung der Grenzen des Naturerkennens. Wir erinnern z. B. an die Bestimmung unwahrgenommener Gestirne aus ihren Wirkungen auf die sichtbaren Himmelskörper. Wenn der Vitalismus annimmt, daß in den Lebewesen neben den physikalischen und chemischen Ursachen noch andersartige, spezifisch „vitale“ Realitäten wirksam sind, so muß er versuchen, diese unwahrnehmbaren Realitäten aus ihren Wirkungen zu erschließen und zu bestimmen.

Vermehrung, Erweiterung und Verfeinerung unserer Sinne.

Es gibt Außenweltsrealitäten, denen keine besonderen Empfindungen entsprechen. Der Mensch hat keinen magnetischen Sinn, wie er einen Lichtsinn besitzt. Solche unwahrnehmbaren Realitäten werden durch Wirkungen festgestellt, die sie auf geeignete Außenweltsobjekte, auf Apparate, z. B. Magnetnadeln, ausüben. Die künstliche Verwertung solcher Mittel kann als Vervollständigung, Vermehrung, Erweiterung und Verfeinerung unserer Sinne bezeichnet werden. Man braucht nur an Elektroskope und Galvanoskope, an Thermometer und Thermosäulen, an für unsichtbare Strahlen empfindliche photographische Platten, an Hygroskope usw. zu denken.

Die physiologisch-psychologische Erkenntnis führt zu der Einsicht, daß auch die Wahrnehmung der „wahrnehmbaren“ transzendenten Realitäten, z. B. des Lichtes, eine vermittelte Wirkung darstellt. Nur brauchen die entsprechenden Apparate (z. B. die Augen) nicht künstlich konstruiert zu werden, da die Natur sie uns auf den Lebensweg mitgibt.

Grenzen der Außenweltserkenntnis. Man pflegt der Erkenntnistheorie die Feststellung von Grenzen des Erkennens als Aufgabe zuzuweisen. Unsere Überlegungen weisen ohne weiteres auf Grenzen der Außenweltserkenntnis hin. Die Grundlagen der Außenweltserkenntnis bilden die Sinneswahrnehmungen, die wir als Zeichen von transzendenten Realitäten betrachten. Die Begrenztheit unserer Sinneswahrnehmung muß also auch Schranken der Außenwelts-

Grenzen der Außenweltserkenntnis, die mit dem Fortschritt der Forschung zurückweichen.

erkenntnis mit sich bringen. Indessen hier handelt es sich um Grenzen, die mit dem Fortschritt des Erkennens immer weiter zurückweichen. Die Erfahrung, daß im Laufe der Zeit immer neue Realitäten wahrgenommen werden, lehrt freilich, daß die Außenwelt reicher und weiter ist, als das Gebiet des Wahrgenommenen; aber sie lehrt zugleich, daß dies Gebiet sich immer mehr ausdehnt, immer mehr von jenem Reichtum in sich aufnimmt.

Nach unseren letzten Betrachtungen ergibt sich, daß auch jene Realitäten, die nicht direkte Wahrnehmungswirkungen in uns hervorrufen, sich der Erkenntnis nicht entziehen. Sofern sie mit Wahrnehmbarem in gesetzmäßigem, etwa kausalem Zusammenhange stehen, können sie hypothetisch bestimmt werden. Übrigens vermehren und vervollkommnen unsere Apparate unsere Sinne derart, daß immer neue Außenweltstatsachen indirekter Erfahrung zugänglich werden. Auch in dieser Hinsicht gibt es keine festen Schranken der Außenweltserkenntnis.

Grenzen von prinzipieller Bedeutung.

Eher sind die Grenzen, auf welche der Satz von der Relativität der Außenweltserkenntnis hinweist, von prinzipieller Bedeutung. Er sagt uns, daß wir die bewußtseins-transzendenten Realitäten nur relativ bestimmen können. Wenn wir z. B. sagen: den Wärmeempfindungen liegen in der Außenwelt Bewegungsvorgänge zugrunde, so ist dies eine lediglich relative Bestimmung; denn wir wissen nicht, was einer Bewegung in der Außenwelt entspricht, da wir die transzendenten Grundlagen räumlicher Verhältnisse nicht kennen. Entsprechendes gilt von allen Aussagen über Außenweltsrealitäten. Wenn wir gewisse „primäre Qualitäten“, wie Zeit- und Zahlbestimmungen, ohne weiteres auf Transzendentes anwenden dürfen, so wird dadurch die Relativität der Außenweltserkenntnis kaum durchbrochen; denn Zeit- und Zahlbestimmungen sind ihrem Wesen nach immer in gewissem Sinne relativ; sie bestimmen ihr Objekt im Verhältnis zu einem Zeitpunkt bzw. zu einer Einheit.

Die Relativität der Außenweltserkenntnis wird deutlich, wenn man letztere mit der Erkenntnis der Bewußtseinstatsachen vergleicht. Wir kennen z. B. eine Grünempfindung nicht nur insofern, als wir sie als gleichartig mit anderen Farbempfindungen, als sehr verschieden von Tonempfindungen bestimmen; wir kennen sie vielmehr „absolut“, so wie sie ist, abgesehen von anderen Realitäten. Ein solches absolutes Kennen besitzen wir auch in bezug auf Bewußtseinserlebnisse (z. B. Freude und Leid) der Mitmenschen; freilich ist dasselbe im Prinzip hypothetisch, wenn es auch praktisch zuweilen als völlig sicher betrachtet wird.

In bezug auf die bewußtseins-transzendenten Realitäten fehlt uns ein solches absolutes Kennen — wenn wir von kühnen metaphysischen Hypothesen absehen, die z. B. das Wesen der transzendenten Dinge als Willensdrang charakterisieren zu dürfen glauben —. Dies Fehlen eines absoluten Kennens hat man im Auge, wenn man das innere Wesen der Materie, der Körper und ihrer Eigenschaften und Kräfte, als unerkennbar bezeichnet, wie es ja philosophierende Naturforscher oft getan haben. In der Tat stehen einem absoluten Erkennen der Außenweltsrealitäten aus ihren Wahrnehmungswirkungen prinzipielle Schranken im Wege. Dies schließt nicht aus, daß die Begriffe des Körpers, der

Das Wesen der Materie und ihrer Kräfte unerkennbar?

Kraft usw. beim Naturerkennen berechtigte und wertvolle Anwendung finden können, wie sogleich darzulegen sein wird.

Die Relativität der Außenweltserkenntnis ergibt sich aus dem Umstande, daß wir das Bewußtseins-Transzendente aus seinen Bewußtseins*wirkungen*, den Sinneswahrnehmungen, erschließen müssen. Es liegt die Frage nahe, was denn das absolute Kennen von Bewußtseinsinhalten der Mitmenschen ermöglicht; sind dieselben doch auch einzelbewußtseins-transzendent. Analogieschlüsse sind es, die uns diese absolute Kenntnis z. B. eines körperlichen Schmerzes beim Mitmenschen geben. Metaphysiker haben versucht, auf gleichem Wege das innere Wesen der Außenweltsdinge absolut zu bestimmen, z. B. das Wesen der Körper und ihrer Kräfte als seelisch-geistig darzutun (Spiritualismus), bzw. im Willen oder Streben zu erblicken (Voluntarismus). Doch verliert der Analogieschluß bei so weitgreifender Anwendung auf unserem Wesen so fern stehende Objekte sehr an Überzeugungskraft. Im Prinzip sind spiritualistische bezw. voluntaristische Ausdeutungen der Außenweltsrealitäten wohl möglich; doch sind sie unbestimmt und unsicher, und für das Naturerkennen kommt ihnen keine große Bedeutung zu.

Immerhin ist hervorzuheben, daß solche „metaphysischen" Hypothesen grundsätzlich mit anderen Feststellungen über das Transzendente, z. B. über das Seelenleben der Mitmenschen, auf gleiche Stufe zu stellen sind. Für die Praxis der Forschung besteht allerdings eine ungeheure Differenz.

DIE VORAUSSETZUNG EINER KÖRPERWELT. KÖRPER UND KRÄFTE. UNKÖRPERLICHE BEWUSSTSEINS-TRANSZENDENTE REALITÄTEN. DER NATURBEGRIFF. SCHLUSS.

Verschiedene Gesamtauffassungen des Bewußtseins-Transzendenten. Wir sind zu dem Ergebnis gelangt, daß außerhalb des Bewußtseins von Menschen und Tieren ein Reich von Realitäten anzunehmen sei, die unsere Sinneswahrnehmungen verursachen. Diese Realitäten sind nicht gänzlich unerkennbar. Wir dürfen freilich nicht ohne weiteres die Sinnesqualitäten und räumlichen Eigenschaften, wie sie die Wahrnehmung gibt, auf die zugrunde liegenden Außenweltsrealitäten übertragen. Doch gelten uns die in der Wahrnehmung auftretenden Eigenschaften als Zeichen für korrespondierende Außenweltsrealitäten.

Damit ist über den Gesamtcharakter der Außenwelt noch sehr wenig ausgemacht. Wenn wir die Ursachen der Sinneswahrnehmungen bewußtseinstranszendent nennen, so soll dies nur besagen, daß sie nicht im Bewußtsein der Menschen und Tiere zu finden sind. Es bleibt durchaus denkbar, daß diese Ursachen doch auch in irgendeinem Bewußtsein enthalten sind, daß jede von ihnen sozusagen ein kleines Bewußtsein für sich darstellt, oder daß sie allesamt nur als Inhalte eines göttlichen, allumfassenden Bewußtseins existieren. Derartige metaphysische Hypothesen, die in der philosophiegeschichtlichen Entwicklung in verschiedener Weise ausgebaut worden sind, werden durch den kritischen Realismus nicht ausgeschlossen.

Die Naturwissenschaft betrachtet die Außenwelt als Körperwelt.

Doch hält er sich vornehmlich an die leistungsfähigste Auffassung der Außenwelt, die naturwissenschaftliche, welche das Bewußtseins-Transzendente speziell als Körperwelt betrachtet. Weil diese Auffassung der Erfahrung so gut entspricht und sich im Bestimmen und Voraussagen der Sinneswahrnehmungen so vorzüglich bewährt, wird man ihr am meisten Vertrauen schenken; man wird annehmen dürfen, daß sie im wesentlichen Richtiges trifft. Sie ist übrigens mit mancherlei metaphysischen Ausdeutungen verträglich. Man kann sich vorstellen, daß die letzten Teilchen, aus denen die Körper bestehen, seelenartige Wesen (Monaden) sind, wie es Leibniz wollte, oder daß die Körper nur Ideen im allumfassenden göttlichen Geiste sind. Unsere Erkenntnis und Beherrschung der Naturerscheinungen wird allerdings durch solche Ausdeutungen sehr wenig berührt. —

Es ist nun zu untersuchen, ob wir auf kritisch-realistischem Standpunkte die bewußtseins-transzendente Welt, welche unsere Sinneswahrnehmungen verursacht, als Körperwelt betrachten dürfen.

Die Außenwelt als Körperwelt. Im mathematischen Sinne ist ein Körper ein Raumgebilde, das Höhe, Breite und Dicke hat. Dabei kann es sich um lediglich gedachte Gebilde handeln. Wenn wir aber im täglichen Leben oder in den Realwissenschaften von Körpern sprechen, so meinen wir reale Dinge, die einen Raum erfüllen, die Höhe, Breite und Dicke haben. Ob diese Realitäten aus unausgedehnten, von einander entfernten Elementen, Kraftpunkten oder Monaden etwa, aufgebaut sind, ob sie undurchdringlich sind und was dergleichen Fragen mehr sind, kommt zunächst für den Körperbegriff nicht in Betracht.

Es ist also zu fragen, ob die unseren Körperwahrnehmungen entsprechenden transzendenten Realitäten einen Raum erfüllen.

Kritisch-realistische Interpretation und Rechtfertigung dieser Auffassung.

Nur im übertragenen Sinne konnten wir jenen Außenweltsrealitäten räumliche Eigenschaften zusprechen. In diesem Sinne werden wir sie aber auch als raumerfüllend bezeichnen müssen. Für die Tastwahrnehmung ist eine breiige Masse z. B. nach Höhe, Breite und Dicke ausgedehnt. Sowohl den Höhen- wie den Breiten- wie den Dickenunterschieden müssen besondere Unterschiede im Bewußtseins-Transzendenten korrespondieren. Im übertragenen Sinne dürfen wir daher auch das der Breimasse korrespondierende Transzendente als hoch, breit und dick, als raumerfüllend und körperlich bezeichnen. Bei einem harten Körper, einem Stahlblock z. B., können wir uns zwar nicht ganz so leicht überzeugen, daß er den Raum erfüllt, den seine Oberfläche begrenzt; doch ist dies mit geeigneten Mitteln immerhin möglich.

Unseren Körperwahrnehmungen entsprechen also transzendente Körper, d. h. in einem übertragenen Sinne raumerfüllende Wirklichkeiten. Die so gut bewährte vor- und naturwissenschaftliche Auffassung der Außenwelt als Körperwelt trifft im wesentlichen Richtiges; sie bedarf allerdings der kritisch-realistischen Interpretation, die aber an ihrer Verwendung in Wissenschaft und Leben nichts ändert. —

Descartes erblickte das Wesen des Körpers in der räumlichen Ausdehnung. Es ist hinzuzufügen, daß es sich um eine raumerfüllende Realität handeln muß.

Manche Psychologen meinen, es gebe raumerfüllende Empfindungen; z. B. habe die Gesichtsempfindung grauen Nebels oder auch die Empfindung eines tiefen Tones deutlich etwas Voluminöses. Trotzdem wäre es unzweckmäßig, solche Empfindungen als Körper zu bezeichnen. Denn die Räumlichkeit, die ihnen vielleicht zukommen mag, ist die der Wahrnehmung, nicht die möglicherweise ganz anders geartete Räumlichkeit im übertragenen Sinne, welche den transzendenten Wahrnehmungsursachen zuzusprechen ist. Die Empfindungen, mögen sie voluminös sein oder nicht, gehören zur Bewußtseinswelt, die Körper zur Welt des Bewußtseins-Transzendenten.

Ein Körper ist also eine im übertragenen Sinn räumliche, bewußtseinstranszendente Realität.

Die Körper als Substanzen. Das vorwissenschaftliche und das einzel-

wissenschaftliche Denken betrachten die Körper als „Dinge" bzw. „Substanzen", als relativ selbständige und dauernde Existenzen, welche unselbständige Bestimmungen tragen. Die beste Legitimation der Anwendung des Ding- bzw. Substanzbegriffes auf die Außenwelt liegt in der Bewährung, welche sie im alltäglichen und wissenschaftlichen Erkennen erfährt.

Die Anwendung des Substanzbegriffes auf die Körper erscheint berechtigt.

Auch vom Standpunkte des kritischen Realismus aus erscheint die Anwendung des Substanzbegriffes auf die körperlichen Realitäten angängig. Wir haben ihnen ja im übertragenen Sinne etwa räumliche Besonderheiten und Bewegungen zuzusprechen. Diesen gegenüber erscheint der Körper als das relativ Selbständige, das jenen unselbständigen räumlichen und Bewegungsbestimmungen gleichsam Halt verleiht und als ihr „Träger" bezeichnet werden kann. Damit ist keine absolute Selbständigkeit und Unabhängigkeit der körperlichen Dinge behauptet.

Die sekundären Qualitäten sind natürlich nicht einfach im Sinne des naiven Realismus als Eigenschaften der körperlichen Substanzen zu betrachten, sondern als Wirkungen derselben. Das gleiche gilt von den räumlichen Besonderheiten unserer Sinneswahrnehmungen.

Die Körper beharrlicher als die Wahrnehmungen.

Die Leistungsfähigkeit des vor- und naturwissenschaftlichen Außenweltsbildes beruht mit in erster Linie auf der Annahme, daß die körperlichen Dinge, die Tische und Stühle, die Häuser und Berge usw., viel beharrlicher sind als unsere beständig wechselnden Wahrnehmungen. Zum Zustandekommen einer Wahrnehmung gehört nicht nur das wahrgenommene Ding; dies ist nur Teilursache in einer Außenweltskonstellation, in welcher vor allem noch die Einstellung unserer Sinnesorgane von entscheidender Bedeutung ist. Mit dem Öffnen und Schließen der Augen kommt und verschwindet nach Belieben die Wahrnehmung des Tisches vor mir. Dies erklärt sich leicht und vollkommen durch die vor- und einzelwissenschaftliche Annahme, daß das wahrgenommene Außenweltsobjekt nur eine (indirekte) Teilursache der Wahrnehmung darstellt, die bestehen bleibt, während ein anderer Teil der weiteren Gesamtursache, die Einstellung des Sinnesorganes, abwechselnd realisiert wird und fortfällt. Durch diese Auffassung wird es uns allein möglich, uns in der Wahrnehmungswelt zu orientieren; wir beziehen die beständig sich verändernden, kommenden und gehenden Wahrnehmungen auf beharrende Dinge und benutzen diese in unserem Denken, um uns in der Welt zurechtzufinden. Selbst Philosophen, die nicht an die Realität der beharrenden Außenweltsdinge glauben, können diese in ihrem Denken nicht entbehren.

Auch das Merkmal des Beharrens, das man zuweilen in den Begriff der Substanz aufgenommen hat, darf nicht im absoluten Sinne genommen werden. Ob es Außenweltsdinge gibt, die schlechthin ewig und unveränderlich sind, kann die Erfahrung nicht lehren, und keine unerläßliche Denkforderung oder Erkenntnisnotwendigkeit zwingt mit logischer Gewalt es zu glauben.

Eigenschaften und Kräfte. Dynamismus. Wir dürfen nicht die sekundären und räumlichen Besonderheiten, wie die Körperwahrnehmung sie uns bietet, den körperlichen Dingen als Eigenschaften zuschreiben, sondern

wir müssen sie als deren Wirkungen betrachten. Immerhin müssen verschiedene Körper irgendwelche sie unterscheidenden Besonderheiten oder Eigenschaften haben, da sie verschiedene Wirkungen hervorbringen. Transzendente Eigenschaften sind die Ursachen der Wirkungen der Körper auf uns und auf andere Körper. Nun haben wir schon die Körper selbst als Ursachen der Wahrnehmungswirkungen aufgefaßt. Die körperlichen Substanzen sind also nicht eine besondere Realität neben oder hinter ihren Eigenschaften. Vielmehr bildet jeder Körper einen mehr oder weniger einfachen Verband transzendenter Besonderheiten oder Eigenschaften, der die einzelne Eigenschaft in sich schließt oder trägt. Zur Verbildlichung wird man daran erinnern dürfen, wie etwa die verschiedenen Eigenschaften oder Besonderheiten einer Farbwahrnehmung miteinander verbunden sind: der Farbton, die Helligkeit, der Sättigungsgrad, die räumliche Ausdehnung der Farbe sind zu einem Verbande vereinigt, der als etwas relativ Selbständiges die angeführten Besonderheiten einschließt und trägt. Die wahrgenommene Farbe ist nicht ein Etwas, das hinter diesen Besonderheiten als Träger derselben stände, sondern sie ist nichts anderes als deren Vereinigung. In entsprechender Weise mögen transzendente Eigenschaften einen Körper konstituieren. Wie viele oder wie vielerlei Eigenschaften dabei zusammenhängen, kann nicht von vornherein ausgemacht werden. Dieselbe Eigenschaft kann unter verschiedenen Umständen verschiedene Wirkungen hervorrufen, sodaß nicht für jede besondere Wirkungsweise eine eigene Eigenschaft angenommen zu werden braucht. Ob schließlich alle Unterschiede im Verhalten der Körper auf Unterschiede der räumlichen Struktur und des Bewegungszustandes zurückführbar sind, wie extreme Formen der mechanischen oder kinetischen Naturauffassung voraussetzen, kann nur der Fortschritt der Naturerkenntnis, nicht aber die Spekulation unabhängig von der Erfahrung entscheiden. Beim Entwurf eines Bildes der Gesamtnatur wird darzulegen sein, inwieweit die gegenwärtige Naturerkenntnis eine Reduktion der Qualitäten der Körper etwa auf Struktur- und Bewegungsverhältnisse rechtfertigt.

Verhältnis des Körpers zu seinen Eigenschaften.

Transzendente Eigenschaften der Körper werden als Ursachen der Wirkungen der Körper angenommen. Genauer gesprochen handelt es sich nur um Teilursachen, die unter geeigneten Bedingungen ihre Wirkungen entfalten; man denke z. B. an die chemischen Eigenschaften. Wir können solche Eigenschaften also auch als Wirkungsfähigkeiten, als Kräfte bezeichnen. Wenn wir einer Realität eine Kraft zuschreiben, so soll dies heißen, daß jene unter geeigneten Bedingungen zu einer gewissen Wirkung befähigt sei. Die Kräfte als Wirkungsfähigkeiten, welche unter geeigneten Umständen Ursachen bestimmter Effekte werden, sind nach dem Dargelegten natürlich nicht von der Substanz der Körper zu trennen, sondern sie stecken in dem Verbande, den wir Körper oder körperliche Substanz nennen; sie konstituieren in ihrer räumlich-zeitlichen Bestimmtheit diesen Verband. Man kann diese Auffassung als dynamische Theorie der Körperwelt oder kurz als Dynamismus bezeichnen. Sie ergibt sich nach dem Dargelegten fast von selbst. Der Körper ist Ursache seiner Wirkungen, also Wirkungsfähigkeit oder Kraft, bzw. Verband von Kräften.

Der Körper als Verband von Kräften. Dynamismus.

13*

Detailliertere Vorstellungen über den Aufbau der Materie aus Kräften, speziellere Ausgestaltungen der dynamischen Theorie der Materie, sind nur unter Berücksichtigung der physikalischen und chemischen Erfahrungstatsachen möglich. Sie werden daher zweckmäßig nicht in der Naturerkenntnistheorie, sondern beim Entwurf des Bildes der Gesamtnatur behandelt. Dabei wird der Dynamismus mit der neuen elektrischen Naturauffassung in Beziehung zu bringen sein. Natürlich sind dabei die allgemeinen erkenntnistheoretischen Ergebnisse zu berücksichtigen. —

Latente und aktive Kraft.

Von der Kraft im Sinne der bloßen Wirkungsfähigkeit kann man die aktive, die Kraft während des Wirkens unterscheiden. Der Magnet hat stets die Kraft, Eisen anzuziehen; aber diese wird nur aktiv, wenn Eisen in der Nähe ist. Bei gleichbleibender Wirkungsfähigkeit kann die aktive Kraft je nach den Umständen verschieden sein. So zieht derselbe Magnet ein nahes Eisenstück mit größerer aktiver Kraft an als ein fernes. Der Begriff der aktiven Kraft spielt in der Physik eine hervorragende Rolle.

Es bleibt nun zu fragen, ob der aktiven Kraft eine besondere transzendente Realität zugrunde liegt, die von der Kraft im Sinne der Wirkungsfähigkeit, der dauernden Eigenschaft des Körpers, zu unterscheiden wäre. Mir scheint, daß das Kausalprinzip nicht zu dieser Annahme nötigt. Daß dieselbe latente Kraft oder Eigenschaft unter verschiedenen Umständen verschiedene Wirkungen ausübt, entspricht durchaus dem Kausalprinzip, und neben derselben eine im Augenblicke des Wirkens entstehende, besondere, je nach den Umständen verschiedene, reale aktive Kraft anzunehmen, kann als unnötige Komplikation erscheinen. Diese aktive Kraft müßte dann ihre Ursache in der latenten und in den Umständen haben, unter denen die Wirkung stattfindet. Die latente Kraft und diese Umstände könnten aber die Wirkung direkt hervorbringen, ohne der Vermittlung durch eine besondere reale aktive Kraft zu bedürfen.

Andererseits liegt die Vermutung nahe, daß die latente Kraft, indem sie zum Wirken gelangt, selbst in einen besonderen, je nach den Umständen verschiedenen Zustand kommt. Der aktiven Kraft entspräche dann nicht ein besonderes Transzendentes neben der latenten Kraft, sondern eine Modifikation, ein aktiver Zustand der letzteren. Dies ist eine ansprechende Vermutung, die insbesondere für die spiritualistisch-metaphysische Auffassung der Körperwelt naheliegt. Wenn die Körper oder die letzten Körperteilchen ihrem inneren Wesen nach seelisch oder seelenartig sind, liegt es nahe anzunehmen, daß sie in einen besonderen Zustand, sagen wir des aktiven Strebens oder Wollens kommen, wenn sie zu wirken beginnen. Übrigens entfalten alle Körperteilchen fortwährend aktive Kräfte — man braucht nur an die allgemeine Massenanziehung zu denken —; sie würden also beständig solche Strebungen in sich bergen.

Unkörperliche bewußtseins-transzendente Realitäten. Ausblick auf den Mechanismus-Vitalismus-Streit in der Biologie. Vom Standpunkt des kritischen Realismus aus dürfen wir Körper, d. h. raumerfüllende Realitäten als Außenweltsursachen annehmen. Es ist jedoch keines-

wegs erwiesen, daß es nur körperliche Realitäten im Bewußtseins-Transzendenten geben könne.

Bewußtseinsinhalte wie ein Gefühl der Mitfreude sind unräumliche, unkörperliche Weltbestandteile; denn sie sind nicht hoch, breit und lang in dem Sinne, in dem dies von Körpern gilt. Grundsätzlich spricht nun nichts gegen die Möglichkeit, daß es unkörperliche Realitäten oder Kräfte auch außerhalb des Bewußtseins von Menschen und Tieren gibt. In der Tat erfreut sich in der Psychologie die Annahme seelischer, jedoch nicht im Bewußtsein vorfindbarer Faktoren weitgehender Anerkennung; man bezeichnet das hypothetisch geforderte, bewußtseins-transzendente Seelische als das „Unbewußte".

Mechanismus und Vitalismus.

In der Naturforschung der jüngsten Vergangenheit (für die Gegenwart gilt das Auszuführende nicht mehr in gleichem Maße) war die Überzeugung durchaus vorherrschend, daß die Annahme eines Einwirkens unkörperlicher Realitäten auf das körperliche Geschehen durchaus abzulehnen sei. Man wandte sich gegen die Annahme, daß unkörperliche seelische Wirklichkeiten, wie Gefühl und Wille, auf die leiblichen, etwa auf die Gehirnvorgänge wirken könnten; man lehnte entschieden den Vitalismus ab, d. h. die Auffassung, daß in den Lebewesen nicht nur physikalische und chemische Faktoren wirksam sind, sondern noch andere, nicht physikalische oder chemische, vielleicht seelische oder doch seelenartige Realitäten mitspielen; daß gerade solche besonderen „vitalen" Realitäten den Leib zu einem belebten machen, indem sie das körperliche Geschehen im Organismus in der für das Leben eigentümlichen zweckmäßigen Weise leiten.

Die Lehre, welche die Existenz besonderer vitaler Faktoren bestreitet, nennt man Mechanismus (im biologischen Sinne). Dieser behauptet also, daß das Geschehen in den Lebewesen ein rein körperliches sei, bei dem zuletzt nur die Faktoren mitwirken, die von der Physik und Chemie zu erforschen sind. Die Lebewesen gelten ihm als physiko-chemische Maschinen oder Automaten. Die besondere Anordnung bzw. der besondere Bewegungszustand der körperlichen Teilchen, der Atome und Moleküle, sollen die Eigenart der Lebenserscheinungen bedingen und im Prinzip erklärlich machen.

Eine Entscheidung des Mechanismus-Vitalismus-Streites kann nur an Hand der Erfahrungstatsachen, insbesondere der biologischen (und psychologischen) versucht werden. Es ist zu prüfen, was die beiden Hypothesen für die Erklärung der Lebenserscheinungen leisten können. Diese Prüfung gehört nicht hierher. Hier sind lediglich prinzipielle erkenntnistheoretische Einwände gegen den Vitalismus ins Auge zu fassen.

Der sogenannte Grundsatz der geschlossenen Naturkausalität.

Man spricht von einem „Grundsatz der geschlossenen Naturkausalität"; er fordere, daß niemals andere als körperliche Realitäten in den materiellen Ursach-Wirkungs-Zusammenhang eintreten. So werde es z. B. dem Physiker nicht in den Sinn kommen, für einen körperlichen Vorgang auf dem Experimentiertisch eine andere als körperliche Ursache zu suchen. Dieses in den exakten Naturwissenschaften, in Physik und Chemie, so wohl bewährte Prinzip sei auf die biologischen Wissenschaften zu übertragen, und somit seien besondere unkörper-

liche, vitale Realitäten abzulehnen; auch der Biologe dürfe nur mit den materiellen Faktoren rechnen, wie sie Physik und Chemie erforschen.

Indessen unterscheiden sich die Lebenserscheinungen so wesentlich von den Vorgängen in der toten Natur, daß die Übertragung des in Physik und Chemie berechtigten Prinzips der rein materiellen Kausalität auf die Biologie sich keineswegs von selbst versteht. Vielmehr liegt es zunächst sehr nahe, für die eigenartigen Lebenserscheinungen besondere, in der toten Natur nicht mitspielende vitale Faktoren anzusetzen. Wir finden überdies in uns selbst, in unserem Seelenleben, unkörperliche Realitäten tatsächlich vor. So konnten uralte Erfahrungen bereits das vorwissenschaftliche Denken bestimmen, seelische oder seelenartige Faktoren als die eigentlich belebenden Kräfte anzusehen. Diese Anschauung lebt im „Psychovitalismus" der Gegenwart fort.

Das Sparsamkeitsprinzip.

Demgegenüber beruft man sich auf das Prinzip der Einfachheit oder Sparsamkeit. Wir haben schon mehrfach auf die Tendenz unseres Denkens zum Einfachen hingewiesen. Gewiß hat sich diese Tendenz vielfach bewährt. Die großen Forscher der beginnenden Neuzeit verdankten der mehrfach ausgesprochenen Maxime, die Natur als ein einfaches, durchsichtigen mathematischen Gesetzen gehorchendes Gebilde aufzufassen, zum Teil ihre Erfolge. Indessen die Einfachheit und Durchsichtigkeit der Natur ist doch eine sehr begrenzte. Das Prinzip der Sparsamkeit verbietet, ohne begründeten Anlaß, ohne Not („*praeter necessitatem*", wie die alte Formel lautet) neue Weltfaktoren anzunehmen. So wird der Physiker keine nicht-materiellen Realitäten auf seinem Forschungsgebiete gelten lassen, weil für ihn kein Bedürfnis vorliegt, solche anzunehmen. In der Biologie aber liegen die Dinge doch wesentlich anders. Die mechanistische Behauptung, daß im Pflanzen- und Tierkörper nur physiko-chemische Faktoren mitspielen, daß kein wissenschaftliches Bedürfnis vorliegt, besondere vitale Faktoren anzunehmen, wird ja gerade vom Vitalismus bestritten. Die Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Sparsamkeitsprinzips, das Fehlen eines Bedürfnisses, neue, besondere Lebensfaktoren anzunehmen, steht also in Frage; der Vitalismus behauptet, daß ein solches Bedürfnis vorliegt, und daß darum das Sparsamkeitsprinzip nicht Anwendung finden könne. Wer den Vitalismus durch das Sparsamkeitsprinzip widerlegen will, muß zeigen, daß man ohne besondere vitale Faktoren in der Biologie auskommen kann, daß die Lebenserscheinungen physiko-chemisch befriedigend erklärbar sind. Die erkenntnistheoretischen Überlegungen geben also nicht den Ausschlag, sondern auf dem Gebiete der Biologie ist der Kampf auszufechten. — Eine sehr beachtenswerte Form der vitalistischen Lehre, der Psychovitalismus, betrachtet die einzuführenden vitalen Faktoren als seelische (oder doch seelenartige) Realitäten; er führt also nicht gänzlich neue Weltfaktoren ein, sondern operiert mit Realitäten, wie sie die Psychologie längst anerkennt und erforscht. Dem Psychovitalismus gegenüber fällt also das Sparsamkeitsprinzip noch weniger ins Gewicht.

Die Frage, ob ein berechtigter Anlaß vorliegt, in der Biologie besondere vitale Faktoren, etwa unkörperliche bewußtseins-transzendente Realitäten ein-

zuführen, kann nur auf Grund der biologischen (und psychologischen) Erfahrungstatsachen, nicht aber durch allgemeine erkenntnistheoretische Überlegungen entschieden werden. Findet sich ein Anlaß zu dieser Hypothese, so ist vom erkenntnistheoretischen Standpunkte nichts gegen sie einzuwenden, falls sie den allgemeinen erkenntnistheoretischen Grundsätzen, wie der Gesetzmäßigkeitsvoraussetzung und dem Kausalprinzip entspricht. Es ist ein (freilich historisch verständliches) Vorurteil, wenn mechanistisch gesinnte Naturforscher meinen, die Annahme vitaler Faktoren müsse Naturgesetzlichkeit und Kausalprinzip in mystischer Weise durchbrechen. Wie Psychologen annehmen, daß die unkörperlichen Realitäten der seelischen Welt kausaler Gesetzmäßigkeit sich fügen, so können auch vitalistisch gesinnte Biologen überzeugt sein, daß die vitalen Faktoren dem Kausalgesetz entsprechen. Erst wenn der Vitalismus das Kausalprinzip preisgibt, wird er erkenntnistheoretisch bedenklich. Aber ein einsichtiger Vitalist wird gerade die besonderen Lebensfaktoren einführen, um die Eigenart der Lebenserscheinungen, ihre oft so frappierende Zweckmäßigkeit, kausal erklärlich zu machen. Auch unsere seelischen Fähigkeiten, unser Verstand und Gefühl führen zu zweckmäßigen Wirkungen, ohne daß für die Psychologie ein entscheidender Anlaß vorläge, die kausale Gesetzmäßigkeit im Seelenleben zu leugnen. Kausale Bestimmtheit und Zweckschaffen sind durchaus miteinander vereinbar, und es ist Aufgabe der Forschung, zu untersuchen, wie auf kausalgesetzmäßigem Wege die erstaunlichen teleologischen Leistungen in der belebten Natur zustande kommen. Der Vitalismus kann sich ebenso wie der Mechanismus um diese Aufgabe bemühen, und der Erfolg wird zwischen ihnen entscheiden müssen — falls eine Entscheidung überhaupt möglich ist.

Der Vitalismus braucht dem Kausalprinzip nicht zu widersprechen.

Wir erstreben in der Wissenschaft zuletzt nicht Einfachheit, sondern Wahrheit unserer Überzeugungen. Ist die Wahrheit unerreichbar, so müssen wir uns mit größerer oder geringerer Wahrscheinlichkeit begnügen. Eine Hypothese ist *ceteris paribus* um so wahrscheinlicher, je besser sie der Erfahrung entspricht. Die Anpassung an die Erfahrung muß auch im Mechanismus-Vitalismusstreit zuletzt den Ausschlag geben, nicht aber die Einfachheit. Übrigens ist keineswegs die mechanistische Hypothese schon darum die einfachere, weil sie besondere vitale Faktoren entbehren zu können meint. Es könnte sehr wohl sein, daß sie in dem Bestreben, den mannigfaltigen und eigenartigen Lebenserscheinungen gerecht zu werden, zur Annahme so komplizierter physikalischer und chemischer Verhältnisse in der lebendigen Substanz gedrängt würde, daß demgegenüber manche Formen des Vitalismus (etwa des Psychovitalismus) als einfacher gelten müßten.

Man hat vielfach gemeint, das Gesetz der Erhaltung der Energie lasse das Hereinwirken unkörperlicher Realitäten in das materielle Getriebe nicht zu. Indessen ist diese Auffassung nicht nur von Philosophen, sondern auch von Physikern mehrfach widerlegt worden. Da die einschlägigen Überlegungen keinen erkenntnistheoretischen Charakter tragen, mögen sie hier unerörtert bleiben.

Natur = Körperwelt.

Der Begriff der Natur. Wir hatten in einleitenden Betrachtungen den Begriff der Natur vorläufig bestimmt, indem wir sie mit der Körperwelt identifizierten. Diese Begriffsbestimmung erhält durch unsere erkenntnistheoretischen Überlegungen ein gesichertes Fundament. Sie ergaben gegenüber kritischen Einwänden, daß wir an der Existenz einer Körperwelt festhalten dürfen, und daß eine wenngleich nur relative Erkenntnis der Körperwelt und der in ihr wirksamen Kräfte möglich bleibt. Dabei mußte allerdings der Begriff des Körpers in übertragenem Sinne genommen werden. Jedoch wird durch diese Notwendigkeit der Bestand der wissenschaftlichen Naturerkenntnis nicht wesentlich betroffen; die Sätze der Naturwissenschaft behalten, im Sinne des kritischen Realismus verstanden, durchaus Sinn und Berechtigung.

Die Natur wäre also als Körperwelt im dargelegten, übertragenen Sinne zu bestimmen.

Erweiterung des Begriffes Natur.

Ob man unkörperliche vitale Faktoren als zur Natur gehörig oder etwa als übernatürlich bezeichnet, ist lediglich Benennungsfrage, die sachlich ohne Bedeutung ist (wenn auch faktisch Benennungen und die an Wörtern haftenden Gefühle oft von großem Einfluß im Geistesleben sind). Will man an unserer Bestimmung des Naturbegriffes festhalten, so sind unkörperliche Vitalfaktoren nicht eigentlich zur Natur zu rechnen. Dies hindert nicht, daß man sie in der Naturwissenschaft und Naturphilosophie in Betracht zieht und wissenschaftlich zu bestimmen sucht. Muß sich doch umgekehrt der Psychologe mit den körperlichen Vorgängen im Organismus beschäftigen. Wenn man will, kann man von unserer Begriffsbestimmung aus die etwaigen vitalen Faktoren als übernatürlich bezeichnen, nur muß man sich dann davor hüten, in dies Wort einen Sinn zu verlegen, der an sich recht nahe liegt: man darf nicht meinen, die vitalen Faktoren müßten übernatürlich im Sinne des Wunderbaren, strenge Gesetzmäßigkeit Durchbrechenden, Unerforschlichen, Mystischen sein.

Wer diese Gefahr vermeiden will, mag den Begriff der Natur erweitern und die vitalen Faktoren, die in der Körperwelt wirken, zu ihr hinzunehmen. Dann erhebt sich jedoch sofort die Frage, ob nicht das Seelische, als im beseelten Leibe wirksam, auch zur Natur zu rechnen sei. In der Tat wird von einem führenden Vitalisten, von Driesch, die Seele als Naturfaktor bezeichnet. Dagegen ist an sich kaum Entscheidendes einzuwenden. Es handelt sich bei der Benennung um eine Zweckmäßigkeitsfrage, man wird aber immerhin sich darüber klar sein müssen, daß auf diese Weise die Begriffe Natur und Welt zusammenzufallen drohen.

Im Sinne der Naturwissenschaft könnte man etwa bestimmen: unter Natur versteht man zunächst die Körperwelt; überdies sind noch andere Weltfaktoren (wie spezifische vitale bzw. seelische Realitäten) hinzuzurechnen, soweit sie — als in das körperliche Geschehen eingefügt und dieses beeinflussend — bie der wissenschaftlichen Erforschung der Körperwelt mitberücksichtigt werden müssen. Oder kürzer: zur Natur gehören neben den körperlichen Realitäten unkörperliche Weltfaktoren, sofern letztere zum Verständnis des körperlichen Geschehens heranzuziehen sind.

Man sollte die Wichtigkeit der terminologischen Frage nicht überschätzen.

Schluß. Empirische und apriorische Grundlagen der Naturerkenntnis. Wir haben die Sinneswahrnehmungen, also die Grundlagen unserer Sinneserfahrung, als Zeichen der körperlichen Realitäten aufgefaßt; diese erfahrenen Zeichen sind es, die uns über die ihnen entsprechenden transzendenten Tatsachen Auskunft geben. Die Erkenntnis der Naturrealitäten ruht also auf der Erfahrung. Die Naturwissenschaften sind Erfahrungswissenschaften, und auch die Naturphilosophie muß das Erkenntnismaterial, mit welchem sie ein einheitliches Bild der Gesamtnatur zu konstruieren versucht, der Erfahrung entnehmen. Sie tut dies indirekt, indem sie von den Ergebnissen der einzelnen Naturwissenschaften ausgeht.

Die Naturerkenntnis ruht auf Erfahrung und auf apriorischen Voraussetzungen.

Auf der anderen Seite haben wir nachdrücklich hervorgehoben, daß die Realwissenschaften wie die Wirklichkeitserkenntnis des täglichen Lebens auf Voraussetzungen ruhen, die durchaus nicht streng logisch durch Erfahrungstatsachen bewiesen werden können. Wir müssen nicht-empirisch-beweisbare, insofern also apriorische Voraussetzungen des Naturerkennens gelten lassen, Voraussetzungen, die überhaupt nicht bewiesen werden können. Sie sind unentbehrlich für die Wirklichkeitserkenntnis, wie sie im täglichen Leben und in den Einzelwissenschaften vorliegt, und sie bewähren sich ausgezeichnet bei der beständigen Verwendung, die sie in Wissenschaft und Leben erfahren. Zuletzt stützt sie ein natürlicher Glaube des gesunden Menschenverstandes, der es nicht zuläßt, daß sie und die auf ihnen ruhenden Erkenntnissysteme durch andere ersetzt werden, die ihnen zur Seite gestellt werden könnten.

Kants Vermittlung zwischen Rationalismus und Empirismus.

Man kann in Kants Erkenntnistheorie einen Versuch erblicken, zwischen Rationalismus bzw. Apriorismus einerseits und Empirismus andererseits zu vermitteln. Der extreme Rationalismus (im erkenntnistheoretischen, nicht im theologischen, religionsphilosophischen Sinne) achtet die Erfahrung gering und betrachtet das erfahrungsfreie, rein aus der Vernunft entspringende, apriorische Wissen als das echte und vollkommene. Der extreme Empirismus dagegen sucht die Basis des Wissens ausschließlich in der Erfahrung. Kants schiedsrichterliche Vermittlung, die apriorische Grundlagen der Realwissenschaften anerkennt, diese Wissenschaften ihr Erkenntnismaterial im übrigen aber der Erfahrung entnehmen läßt, wird wohl als Kritizismus bezeichnet; das Wort ist leider vieldeutig und verliert dadurch an Wert. So weit sich auch die in dieser Schrift dargelegten erkenntnistheoretischen Ansichten vielfach von Kants Lehre entfernen, sie haben doch mit jenem Vermittlungsversuch im Prinzip viel Übereinstimmendes.

Der Empirismus und das Apriori.

Andererseits fühlen wir uns den Klassikern des Empirismus, einem Hume und St. Mill, nahe. Hume, der sogenannte Skeptiker, will das Kausalprinzip nicht abschaffen, indem er es scharfer Kritik unterzieht. Er ist sich über seine Unentbehrlichkeit im klaren, aber er erkennt, daß es sich um einen „Glauben", nicht um eine bewiesene Wahrheit handelt. Und St. Mill, der so oft betont, daß das Prinzip der „Gleichförmigkeit" des Naturgeschehens durch Induktion aus der Erfahrung hervorgehe, erkennt doch gelegentlich den richtigen Sachverhalt.

Sein Kampf gegen das Apriori richtet sich gegen spezielle Ausdeutungen desselben. Der Empirismus hat sich vornehmlich gegen das Apriori in psychologischem Sinne, gegen das Eingeborensein von Erkenntnissen gewandt und hat dabei kritisch und positiv, indem er das Problem der Psychogenese der Erkenntnis energisch aufnahm, Leistungen von dauerndem Werte geliefert. Unter dem Einfluß dieser Kritik ist der Rationalismus bereits in seiner zu Kant führenden Entwicklung immer mehr zu einer haltbaren, erkenntnistheoretischen Auffassung des Apriori gelangt. Die ärgsten Schwierigkeiten der Streitfrage sind beseitigt, wenn die psychogenetischen und erkenntnistheoretischen Fragen klar geschieden werden.

GESAMTBILD DER NATUR.

STRUKTUR UND BAUSTEINE DER GEWÖHNLICHEN KÖRPER.

Das Ergebnis der Naturerkenntnistheorie dient als Grundlage für das Gesamtbild der Natur.

Einleitung. Die Untersuchung der grundlegenden und weitreichenden Voraussetzungen des Naturerkennens führte zu dem Ergebnis, daß wir an der Realität der Außenwelt festhalten dürfen, und daß ein relatives Erkennen der letzteren möglich ist. Die Sinneswahrnehmungen stellen Zeichen der Außenweltsrealitäten dar und ermöglichen als solche einen Einblick in das Bewußtseins-Transzendente und seine Gesetzmäßigkeit. In übertragenem Sinne dürfen wir den Außenweltsrealitäten räumliche Bestimmungen beilegen; wir dürfen sie als Körper auffassen und diesen Kräfte zuschreiben, wie es in der Naturwissenschaft geschieht. Die naturwissenschaftliche Auffassung der Außenwelt muß im wesentlichen Zutreffendes bieten; denn sonst wären ihre Leistungen im Vorausbestimmen unserer Sinneswahrnehmungen, ihre zahllosen Bewährungen unbegreiflich.

Hypothetisches im Gesamtbild der Natur.

So bereiteten die erkenntnistheoretischen Untersuchungen die Grundlage für die Zeichnung eines Gesamtbildes der Natur, indem sie die Voraussetzungen unseres wissenschaftlichen Naturerkennens gegen Angriffe sicherstellten. Nunmehr können wir an die Hauptaufgabe der Naturphilosophie herantreten: Wir haben die für die Welt- und Lebensauffassung wichtigsten naturwissenschaftlichen Einsichten zu einem Gesamtbilde zu verarbeiten. Wir dürfen versuchen, dies Bild durch begründete Vermutungen zu vervollständigen, wenn uns die Naturwissenschaften die Antwort auf Fragen von grundlegender Bedeutung schuldig bleiben. Das menschliche Denken wird sich das Recht nicht nehmen lassen, bei der Beantwortung bedeutsamer Fragen das Gebiet des wissenschaftlich Gesicherten zu überschreiten, Hypothesen aufzustellen und Möglichkeiten zu erörtern. Wie weit man sich Vermutungen hingeben darf und mag, ist z. T. Sache des Taktes und individuellen Beliebens. Es ist aber zu fordern, daß das Vermutete und Unsichere als solches charakterisiert werde. Aus den früher (S. 29) angeführten Gründen erscheint in der Naturphilosophie Zurückhaltung bei der Hypothesenbildung mit dem Fortschritt der Naturwissenschaften immer mehr geboten. Wir gedenken im folgenden vom Rechte der Naturphilosophie zu selbständiger Hypothesenbildung nur in bescheidenem Umfange Gebrauch zu machen. Hingegen werden wir die auf dem Boden naturwissenschaftlicher Einzelforschung erwachsenen Hypothesen in erheblichem Maße verwerten.

Je mehr die Möglichkeit der Begründung zurücktritt, um so mehr verliert die Aufstellung von Vermutungen an wissenschaftlicher Bedeutung. —

Gliederung des Gesamtbildes.

Bei der Gliederung des Gesamtbildes der Natur sind neben sachlich-systematischen Gesichtspunkten auch Rücksichten auf die Zweckmäßigkeit der Darstellung nicht außer acht zu lassen.

Es wird angebracht sein, zunächst die Struktur und die Bausteine der gewöhnlichen, unseren Sinnen sich darbietenden Körper zu betrachten. Dann wollen wir die Frage besprechen, ob es vielleicht noch andere körperliche Realitäten gibt, z. B. einen Äther, der nach verbreiteter, bis vor kurzem allgemein herrschender Annahme den leer erscheinenden Raum zwischen den gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen erfüllt. Nachdem wir so das beharrende körperliche Sein in Augenschein genommen haben, wenden wir uns dem körperlichen Geschehen zu. Vielleicht sind alle köperlichen Vorgänge als Bewegungen aufzufassen, wie es die kinetische Naturanschauung will; letztere ist also bei dieser Gelegenheit darzulegen und zu prüfen.

Übrigens lassen sich die angedeuteten Aufgaben nicht immer reinlich trennen. Der Versuch einer völligen Trennung würde Zusammengehöriges zu oft auseinanderreißen.

Aus der Fülle der Naturdinge treten die Lebewesen als eine besondere Gruppe hervor, da sie sich durch eigentümliche Merkmale, wie die Fortpflanzungsfähigkeit, auszeichnen. Wir werden daher die lebenden Körper und das Lebensgeschehen einer speziellen Betrachtung unterziehen, nachdem wir zunächst ihre Besonderheiten bei der Darstellung der Körperwelt beiseite gelassen haben.

Stufenreihe der Weltbausteine.

Makrostruktur und Mikrostruktur der Körperwelt. Bei einem Blick auf die Struktur des Weltalls drängt sich leicht der Gedanke einer Stufenreihe der Weltbausteine auf. Wir kennen freilich nicht das Ganze der körperlichen Welt; wir wissen trotz vieler scharfsinniger Untersuchungen von Astronomen und Philosophen nicht einmal, ob das Universum endlich oder unendlich ist. Der größte für uns feststellbare Körperkomplex ist das Sternsystem der Milchstraße, dem auch unser Sonnensystem und vielleicht alle Sterne angehören. Vielleicht aber ist das Milchstraßensystem nur eine Teileinheit des Universums, der andere, ähnliche Einheiten zur Seite stehen. Man hat mit gewichtigen Gründen die Annahme gestützt, daß das Sternsystem der Milchstraße den sog. Spiralnebeln oder Spiralflecken, ungeheuren Sternansammlungen, wie sie der Astronom im Andromedanebel und dem Fleck in den Jagdhunden vor sich sieht, zu vergleichen und nebenzuordnen sei. Wie dem aber auch sein mag, unser Milchstraßensystem umfaßt jedenfalls seinerseits als untergeordnete Einheiten zahlreiche Sternhaufen, sowie Gas- und Staubansammlungen (Nebelflecke). Teileinheiten der Sternhaufen stellen die in ihnen vereinigten glühenden oder auch erkalteten Fixsterne dar, die vermutlich Systeme repräsentieren, welche unserem Sonnensystem mehr oder weniger vergleichbar sind. Im Sonnensystem finden wir wiederum Teileinheiten niederen Grades, wie die Meteorschwärme bzw. Kometen oder die Planeten nebst ihren Trabanten. Ein Planet mit seinen Monden stellt abermals ein aus Teileinheiten aufgebautes System dar; eine Teileinheit dieser Stufe haben wir im Erdmond oder in der Erde selbst vor uns.

Kurz, die Welt der Sterne bietet eine Stufenfolge höherer und niederer Einheiten dar; die höheren Einheiten haben eine Struktur, die sich aus den niederen aufbaut. Die Baueinheiten sind durch ungeheure Räume voneinander getrennt, gegen die ihre eigenen gewaltigen Dimensionen fast verschwinden; der Weltenraum stellt eine furchtbare Leere dar. Diese Leere wird von den Gestirnen und Sternsystemen in rasendem, vielfach kreisendem Fluge durchmessen.

Unsere Erde, eine Einheit der untersten Stufe dieser Folge, ein letzter Baustein der Sternenwelt, zerfällt nicht mehr in eine Anzahl weit voneinander entfernter Teileinheiten; die Stufenreihe findet eben bei ihr und ihresgleichen einen unteren Abschluß. Indessen umfaßt auch die Erde, ähnlich wie der Mond, der Mars usw., eine Anzahl von untergeordneten Teileinheiten, die ihre Struktur aufbauen. Als solche können wir bei der Erde etwa zunächst die Atmosphäre, die feste Erdrinde u. dgl. betrachten. In diesen Einheiten lassen sich wiederum niedere Teileinheiten unterscheiden, wie in der Atmosphäre Luftströmungen und Wolken, die allerdings sehr vergänglich sind, oder wie Schichten der Erdrinde oder auch Gebirge usw. Die Wolke baut sich auf aus Wassertröpfchen, das Gebirge aus einzelnen Bergen, Felsen, Steinen. So kommen wir zu Einheiten, die etwa so klein sind, daß wir sie in der Hand halten können. Die Einheiten, welche unsere Erde oder auch den Mond, den Mars oder die Sonne aufbauen, erscheinen vielfach inniger verbunden als die durch ungeheure Entfernungen getrennten Gestirne, welche zu einem System zusammengehören. Zuweilen fehlt sogar die bestimmte Abgrenzung zwischen den irdischen Teileinheiten; sie hängen zusammen, wie z. B. zwei Bergzüge oder Meere.

Bei manchen kleinen Teileinheiten, die wir in der Hand halten können, erkennen wir keine innere Struktur mehr; sie erscheinen uns durch und durch homogen, wie z. B. ein Wassertropfen oder ein Bergkristall. In anderen Fällen bemerken wir schon mit bloßem Auge bei genauerem Zusehen eine inhomogene Struktur und kleinere Teileinheiten, die diese aufbauen; so erkennen wir leicht die körnige Struktur des Sandsteines, die Faserstruktur des Eichenholzes. Das Vergrößerungsglas und das Mikroskop offenbaren weit feinere Strukturen und kleinere Baueinheiten, die für das unbewaffnete Auge unerkennbar sind. Solche mikroskopischen Strukturen und Baueinheiten findet man vielfach in der toten Natur, etwa bei Gesteinen, die man in dünnen Schliffen im Mikroskop betrachtet; in besonderer Mannigfaltigkeit treten sie uns bei den organischen Wesen entgegen. Alle höheren Lebewesen sind aus einer großen Zahl von Struktureinheiten aufgebaut, die man als Zellen bezeichnet. Diese werden oft schon bei mäßiger Vergrößerung wahrnehmbar (es gibt Zellen, die ohne Vergrößerung bequem sichtbar sind); bei stärkerer Vergrößerung offenbaren sie vielfach eine komplizierte Struktur. Sie enthalten wiederum kleinere Einheiten, Fädchen, Körnchen u. dgl.

Mikroskopische und ultramikroskopische Strukturen und Baueinheiten.

Jedesmal, wenn man ein leistungsfähigeres Mikroskop anwendet, kann man neue Strukturen und Baueinheiten auffinden, die bei schwächerer Vergrößerung unsichtbar blieben. Man macht so ähnliche Erfahrungen wie in der

Astronomie, wo die Verstärkung der Fernrohre immer mehr verwaschene Lichtflecke am Firmament in Sternhaufen auflöste.

Die Steigerung der Mikroskopleistungen hat indessen Grenzen. Diese wurden theoretisch von Helmholtz und Abbe berechnet. Die besten Mikroskope bleiben kaum hinter der so bestimmten Höchstleistung zurück. Man sieht in ihnen noch Teilchen von etwa $^2/_{10\,000}$ mm.

Man hat aber Mittel gefunden, noch kleinere Teilchen sichtbar zu machen. Dies gelingt durch eine von der beim Mikroskop üblichen abweichende Beleuchtungsweise. Siedentopf und Zsigmondy haben durch Einführung dieser „ultramikroskopischen" Methode es ermöglicht, daß Partikelchen wahrnehmbar werden, die nur $^4/_{1\,000\,000}$, ja nur $^1/_{1\,000\,000}$ mm messen. (Statt $^1/_{1000}$ mm pflegt man 1 μ, statt $^1/_{1\,000\,000}$ mm 1 $\mu\mu$ zu sagen.) Allerdings kann die Gestalt solcher Teilchen nicht sichtbar gemacht werden; auch müssen dieselben verhältnismäßig große Abstände aufweisen, wenn sie einzeln wahrnehmbar sein sollen.

Das Ultramikroskop hat Strukturen sichtbar gemacht, die im besten Mikroskop völlig verborgen bleiben. Durch Zusatz einer sehr kleinen Menge Gold kann man Glas schön rubinrot färben. In solchem Goldrubinglas oder in ähnlichen farbigen festen oder flüssigen Substanzen entdeckt man auch mit den stärksten Mikroskopen keine besondere Struktur. Wohl aber mit dem Ultramikroskop; da werden in einem scheinbar homogenen Rubinglasteilchen zahlreiche leuchtende Punkte sichtbar. Es sind ultramikroskopisch kleine Goldstäubchen, die dem Glas die prachtvolle Farbe des Edelsteines geben.

Der tiefere Einblick in die Welt des Kleinen und Feinen, den das Ultramikroskop eröffnet, offenbart also wiederum neue Strukturen und winzigere Baueinheiten. Doch auch die Leistungsfähigkeit des Ultramikroskopes hat ihre Schranken. Und mit ihr ist unser direkter Einblick in diese wunderbare Welt des Kleinen begrenzt. Unsere Phantasie aber wird mit Macht weitergetrieben, über die Grenzen der Beobachtung hinaus. Wir sind vom Weltganzen ausgegangen, von der größten kosmischen Einheit, die wir feststellen konnten. Sie zerfiel in Teileinheiten, die ihre Struktur aufbauten; bei diesen Teileinheiten wiederholte sich ein gleiches. Stufe um Stufe sind wir hinabgestiegen zu immer kleineren, niedrigeren Baueinheiten, zu immer feineren Strukturen. Es müßte seltsam zugehen, wenn mit der Grenze der Sichtbarkeit auch die Grenze der Strukturfeinheit, der Kleinheit körperlicher Einheiten gerade erreicht wäre. Es drängt sich uns der Gedanke auf, daß es Strukturen geben mag, die zu fein, Partikelchen, die zu klein sind, um im besten Mikroskop oder Ultramikroskop sichtbar zu werden. Gibt es doch Sternhaufen, die zu fern sind, um im mächtigsten Fernrohr ihre Struktur zu offenbaren, Sonnen in diesen Systemen von Sonnen, die kein technisches Hilfsmittel einzeln sichtbar machen kann.

Mikrostrukturen jenseits der Grenze der Sichtbarkeit.

Wir werden sehen, daß jene Vorstellung einer unsichtbar feinen Struktur der Körper kein bloßes Phantasiegebilde ist. Nicht nur einzelne Stoffe besitzen eine unsichtbar feine Mikrostruktur; eine solche kommt vielmehr aller Materie zu. Angeregt durch die atomistische Weltauffassung, wie sie bereits in der ersten Periode der griechischen Philosophie Leukipp und Demokrit

ausgebildet haben, hat die Physik und Chemie der Neuzeit ein wohlfundiertes Hypothesengebäude geschaffen, das die Mikrostruktur der Materie genauer zu bestimmen versucht. Zwar ist dies Gedankengebäude nicht vollständig fertig; es erfährt immer noch gewisse Umbildungen, vor allem eine immer feinere innere Ausgestaltung. Manche Grundzüge des Bildes, welches die Mikrostrukturhypothesen entwerfen, scheinen jedoch ziemlich sicher festgelegt.

Das Hypothesengebäude umfaßt die Molekular-, die Atom- und die Elektronentheorie. Alle Stoffe, auch die ganz homogen scheinenden, sind aus winzigen Einheiten, den Molekülen, aufgebaut. Diese aber stellen Systeme von zwei oder mehr (zuweilen hunderten von) Teileinheiten, den Atomen, dar. Bei chemischen Umwandlungen werden die Moleküle zerstört und aufgebaut, während die Atome, die sich dabei voneinander trennen und in anderer Weise miteinander zu neuen Systemen verbinden, erhalten bleiben. Auch die Atome werden von der Elektronentheorie als zusammengesetzte Einheiten aufgefaßt, die noch kleinere Einheiten, die Elektronen, die letzten Bausteine der (negativen) Elektrizität, in sich enthalten. Zu einer Zerlegung der Elektronen findet die Naturwissenschaft zurzeit keinen Anlaß; mit ihnen sind wir also an der Grenze der Zerlegbarkeit angelangt. Vielleicht nur vorläufig; F. Ehrenhaft gibt neuerdings an, Elektrizitätsquanten gefunden zu haben, die kleiner sind als die Elektronen.

Unhaltbarkeit prinzipieller Einwände gegen die Mikrostrukturhypothesen. Die Mikrostrukturhypothesen — so wollen wir Molekular-, Atom- und Elektronentheorie zusammenfassend bezeichnen — sind von manchen Forschern grundsätzlich abgelehnt worden. Vor kurzer Zeit hatte die Kritik eines Mach und Ostwald sie bei vielen in Mißkredit gebracht. Inzwischen ist die den Mikrostrukturhypothesen ungünstige Stimmung durch neue Beobachtungen und Überlegungen, durch glänzende Bestätigungen jener Theorien erheblich zurückgedrängt worden. Doch müssen wir zu der prinzipiellen Ablehnung Stellung nehmen. Dies kann geschehen, bevor wir an die genauere Begründung der Mikrostrukturhypothesen herantreten.

Der unaufhörliche Kampf um naturwissenschaftliche Hypothesen und der voreilige Radikalismus, der zuweilen in ihnen zutage tritt, haben bei vielen Naturforschern eine hypothesenfeindliche Stimmung aufkommen lassen. Bei manchen hat sie sich zu der verhängnisvollen Überzeugung verdichtet, man könne und müsse in der Wissenschaft ohne alle Hypothesen auskommen. Dann wären natürlich auch die Mikrostrukturhypothesen zu verwerfen. Indessen, in der Wissenschaft wie im Leben sind Hypothesen unentbehrlich. Wenn wir unseren Mitmenschen ein Seelenleben zusprechen, so bilden wir bereits eine Hypothese, deren wir in der Wissenschaft wie im Leben nicht wohl entraten können. Die Astrophysik wird die Hypothese nicht aufgeben wollen, daß die Fixsterne sonnenartige Körper sind. Wir wollen nun einmal auch Sachverhalte erkennen, die wir nicht direkt beobachten können; wir verlangen Antworten auf Fragen, die nur hypothetische Lösungen zulassen. Wir beachten leicht zu wenig, wie groß die Rolle der Hypothese in allen Realwissenschaften

Der Einwand, die Wissenschaft könne ohne Hypothesen auskommen, ist unhaltbar.

ist, weil manche Hypothesen so naheliegend, so überaus wahrscheinlich sind, daß sie uns gar nicht als solche zum Bewußtsein kommen.

Die Maxime, nur Hypothesen zu dulden, die in Zukunft streng bewiesen oder widerlegt werden können, ist weder haltbar noch entscheidend.

Einige Forscher haben gemeint, nur solche Hypothesen dulden zu dürfen, die in Zukunft durch direkte Beobachtung bewiesen oder widerlegt werden können. Indessen ist es oft schwer zu sagen, ob eine hypothetische Lehre in Zukunft einer direkten Entscheidung zugänglich werden wird. Wir wissen nicht, inwieweit die Mikrostrukturen, die in Physik und Chemie hypothetisch bestimmt werden, einst wahrnehmbar werden können; auch wo man gegenwärtig keinen Weg voraussieht, der zu solchen Zielen führen könnte, kann die Zukunft einen Pfad ausfindig machen. Die alten Griechen konnten nicht ahnen, daß man einmal Teilchen sichtbar machen werde, die sich zu einem Zentimeter verhalten, wie dieses zu einer Strecke von fünf Wegstunden. Es ist wohl möglich, daß manches, was gegenwärtig im Lehrgebäude der Mikrostrukturannahmen durchaus hypothetisch erscheint, in nicht allzu langer Zeit zwingend bewiesen werden wird.

Überhaupt ist die Maxime, nur Hypothesen zu dulden, die in Zukunft bewiesen werden können, unhaltbar, weil wir Hypothesen anerkennen müssen, bei denen jede Aussicht auf einen zukünftigen Beweis fehlt. Man denke wiederum an die Hypothese fremden Seelenlebens. Es ist nicht einzusehen, wie etwa die Gefühle meiner Mitmenschen jemals meiner direkten Beobachtung zugänglich werden könnten, wie ihr Vorhandensein jemals absolut streng bewiesen werden soll; trotzdem halten wir an der hypothetischen Überzeugung fest, daß mit den beobachteten Ausdrucksbewegungen, mit Lachen und Weinen, die niemals beobachtbaren Gefühle unserer Mitmenschen verbunden sind. Unsere früheren erkenntnistheoretischen Betrachtungen haben zur Genüge dargetan, wie eng das Gebiet des direkt Beobachtbaren und streng Beweisbaren ist; die Wissenschaft kann nicht auf dies enge Gebiet beschränkt werden. Wir müssen der Hypothese das Recht lassen, Sachverhalte mit möglichster Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, die durch direkte Beobachtung und strenge Beweisführung nicht festgelegt werden können.

Widerspruch des subjektiven Idealismus oder Empfindungsmonismus gegen die Mikrostrukturhypothesen.

Wenn subjektive Idealisten oder Empfindungsmonisten fordern, die Naturwissenschaft solle nur unsere Empfindungen beschreiben, so werden sie allerdings leugnen müssen, daß ein Bleistück oder ein Wassertropfen eine inhomogene Mikrostruktur haben; in unserer ,,Empfindung" ist diese Mikrostruktur des Bleistückes oder Wassertropfens nicht vorhanden. Wir haben früher den subjektiven Idealismus einer ablehnenden Kritik unterzogen. Hier sollen nur die naturwissenschaftlichen Konsequenzen angedeutet werden, zu denen obige Forderung leitet, wenn sie streng durchgeführt wird; an solcher konsequenten Durchführung pflegt es freilich zu fehlen. Wenn der Astronom lediglich die Empfindungen beschreiben soll, die ihm beim Anblick des gestirnten Himmels, etwa durch das Fernrohr, zu teil werden, dann hat er keinen Anlaß, Fixsterne als unserer Sonne vergleichbare, mit entsprechender Struktur ausgestattete große Körper aufzufassen. In der Wahrnehmung, auch im stärksten Fernrohr, stellen sich die Fixsterne stets als einfache Lichtpunkte dar; fügen wir etwa

noch die Angabe der Größenklasse und eine Beschreibung des Fixsternspektrums hinzu, so haben wir der Forderung der Empfindungsbeschreibung beim Fixstern durchaus Genüge getan. Die Astrophysik wird also erheblich vereinfacht. Diejenigen unauflösbaren Nebelflecke, denen man wegen ihres den Sternhaufen entsprechenden Spektrums auch die Struktur derselben zuzusprechen pflegt, sind nach jener Forderung, für die unwahrnehmbare Strukturen nicht existieren, so einfach gebaut, wie sie in unserer „Empfindung" erscheinen; ihnen Sternhaufenstruktur zuzusprechen, geht nicht wohl an, wenn man die Mikrostrukturhypothesen prinzipiell verwerfen will, wenn man lediglich hypothetisch erschlossene Strukturen grundsätzlich nicht anerkennt. Eigentlich müßte ein radikaler Empfindungsmonist noch paradoxere Konsequenzen gelten lassen: Da die Rückseite des Mondes in unserer Empfindung nie gegeben ist, existiert sie gar nicht. Der Mond ist identisch mit jenem Komplex von Lichtempfindungen, der sich bald in Sichel-, bald in Kreisform am Himmel uns darbietet. Bei Neumond fehlen diese Empfindungen, also auch der Mond. In dem Augenblick, in dem wir in ein nach dem Monde gerichtetes Fernrohr blicken, wird jener Empfindungskomplex, also der Mond selbst, größer und reicher; es entstehen ringförmige Strukturen („Krater") auf ihm, die sonst nicht da sind.

Niemand erkennt solche Konsequenzen rückhaltlos an, auch die Empfindungsmonisten tun es nicht. Sie schreiben Fixsternen eine sonnenartige Struktur, unauflösbaren Nebelflecken mit Sternhaufenspektrum eine Sternhaufenstruktur, dem Mond eine Rückseite mit Gebirgsstruktur unbedenklich zu, obwohl alle diese Strukturen in unserer „Empfindung" nicht existieren, nicht wahrnehmbar sind, sondern nur hypothetisch erschlossen werden. Die hypothetisch erschlossene Mikrostruktur der Materie sollten sie darum auch nicht prinzipiell ablehnen. —

Degradierung der Mikrostrukturlehre zur bloßen Fiktion.

Es ist nicht leicht zu verkennen, daß die Mikrostrukturhypothesen für die Entwicklung der exakten Naturwissenschaften oft förderlich gewesen sind. Sie haben für viele Erscheinungen anschauliche Erklärungen gegeben, die zahlreiche neue Beobachtungen angeregt haben; diesen Nutzen erkennen sogar Gegner an. Um der Bedeutung der Mikrostrukturvorstellungen gerecht zu werden, ohne sie als Hypothesen gelten zu lassen, faßt man sie als Fiktionen auf, die in mancher Beziehung nützlich sind, jedoch nicht eine wirkliche Mikrostruktur wiedergeben. Man meint, es sei vielfach zweckmäßig, anschaulich und anregend, die Körper so zu betrachten, *als ob* sie jenen Mikrostrukturfiktionen entsprächen; damit sei der wissenschaftliche Wert dieser Vorstellungen aber auch erschöpft.

Wir müssen die Degradierung der Mikrostrukturhypothesen zu bloßen Fiktionen sofort ablehnen, wenn sie aus *prinzipiellen* Gründen gefordert wird. Wir müßten sonst *alle* Strukturhypothesen, schließlich alle Hypothesen *überhaupt* zu Fiktionen umdeuten. Denn im Prinzip werden die Mikrostrukturhypothesen in gleicher Weise begründet wie alle Hypothesen. Man zeigt, daß die Annahme einer Mikrostruktur am besten die beobachteten Erscheinungen erklärt, daß die Konsequenzen aus dieser Annahme sich bewähren, kurz, daß die Materie sich so verhält, als ob sie eine Mikrostruktur besäße.

Man kann diese Annahme auch durch einen Analogieschluß stützen; das Verhalten der scheinbar homogenen Materie (etwa in dünnen Schichten) ist analog demjenigen von Massen, die sichtbarlich eine Körnerstruktur haben. Das alles ist freilich nicht streng beweisend; denn die Materie könnte sich so verhalten, als ob sie jene Struktur hätte, ohne sie wirklich zu besitzen. Eben darum ist die Strukturannahme lediglich wahrscheinlich und hypothetisch. Wenn aber die Materie sich in verschiedener Hinsicht immer wieder so verhält, als ob sie eine bestimmte Mikrostruktur besäße, so werden wir doch mit gutem Grund uns immer mehr bestärkt fühlen in der Ansicht, daß sie diese Struktur wirklich besitzt. Fehlte ihr diese Struktur, so wäre doch anzunehmen, daß sie sich in mancher Hinsicht auch nicht so verhalten würde, als ob sie sie besäße. Ich nehme an, daß meine Mitmenschen denken, fühlen und wollen, weil sie sich so verhalten, als ob sie Gedanken, Gefühle und Willen besäßen; einen anderen Grund habe ich für meine Annahme nicht, und doch wird niemand ernstlich diese Annahme als bloße Fiktion auffassen können. Wer zum Fenster hinausblickend in der Dämmerung auf der Straße lauter aufgespannte Regenschirme erblickt, als ob es etwa fein regne, wird glauben, daß es wirklich regnet, nicht aber meinen, nur die Fiktion des Regens sei berechtigt. Der Astronom schreibt unauflösbaren Nebelflecken, die im Spektralapparat ein Regenbogenfarbenband zeigen, als ob sie Sternhaufen wären, wirklich Sternhaufenstruktur zu; diese Strukturhypothese wird niemand zu einer bloßen Fiktion machen wollen. Wenn man die Kometen als Anhäufungen von Meteoren auffaßt, so betrachtet dies jedermann als Hypothese, die wahr oder falsch sein kann, nicht aber als eine bloße Fiktion, für die der Gesichtspunkt der Wahrheit gar nicht in Frage käme. Was anderen Hypothesen, speziell auch Strukturhypothesen, recht ist, ist den prinzipiell ganz gleichartig begründeten Mikrostrukturhypothesen billig; sie sollten ernsthaft als Hypothesen bewertet und geprüft, nicht aber grundsätzlich zu bloßen Fiktionen herabgesetzt werden.

Prinzipielle Berechtigung der Strukturhypothesen.

Die Struktur eines unauflösbaren Sternhaufens oder Kometen ist unsichtbar, weil diese Gestirne zu fern liegen, weil die Bausteine bzw. ihre Abstände in Anbetracht solcher Entfernungen zu klein sind, um wahrgenommen werden zu können. Das gleiche gilt von einem Sandhaufen, der in ein paar Schritt Entfernung als homogene Masse erscheint, während ein neben ihm liegender Ziegelsteinhaufen etwa noch seine Struktur verrät. Bei einer Wolke sehr feinen Staubes bleiben uns auch die unmittelbar nahen Baueinheiten unsichtbar. Strukturen können also unserem Auge verborgen bleiben, weil sie zu fern sind, oder weil sie zu fein sind. Das tägliche Leben und die Wissenschaft zeigen dies in Hunderten von Fällen; ein fernes Kornfeld, eine Dampf- oder Rauchwolke, die Zellstruktur eines pflanzlichen oder tierischen Organes geben Beispiele ab. Für den wissenschaftlichen Realismus ist die Unwahrnehmbarkeit ferner oder feiner Strukturen leicht verständlich. Die Wahrnehmung ist eine kompliziert vermittelte Wirkung des wahrgenommenen Objektes. Die feinere Struktur einer Ursache braucht sich in der indirekten Wirkung nicht zu verraten; gehen doch schon auf der Photographie allzu feine oder ferne Strukturen des abgebildeten

Objektes verloren. Die Hypothese unwahrnehmbarer Mikrostrukturen bietet also für unsere realistische Erkenntnistheorie keinerlei prinzipielle Schwierigkeiten.

Es ist Prüfung der Einzelgründe, die für die Hypothesen angeführt werden können, erforderlich.

Das Problem, wie die Mikrostrukturhypothesen zu bewerten sind, ob sie anzuerkennen oder abzulehnen sind, stellt für uns mithin keine einfache Prinzipienfrage dar. Vielmehr muß eine Prüfung der Einzelgründe, die zu diesen Hypothesen angeführt werden können, unsere Stellungnahme bestimmen. Wir müssen zusehen, ob die strukturlos erscheinenden Körper sich doch ganz so verhalten, als ob sie eine bestimmte Mikrostruktur besäßen; ob die Annahme einer solchen Struktur eine Reihe von Erscheinungen befriedigend erklärt und mit allen Beobachtungen verträglich ist; ob wir auch nicht etwa ohne Annahme einer Mikrostruktur jene Erscheinungen ebenso gut verstehen können. Wir müssen fragen, wie sich die Hypothese bei neuen Beobachtungen bewährt hat, ob sie auch quantitativ, bei den Messungen der Physiker und Chemiker, Bestätigung fand. Wir haben zu bedenken, ob die Analogie mit Körpern, welche offensichtlich eine körnige Struktur haben, einen analogischen Schluß auf die körnige Struktur aller Materie erlaubt, der befriedigende Überzeugungskraft, wenn auch keine völlige Sicherheit besitzt.

In dieser Weise, nicht bloß auf Grund prinzipiell erkenntnistheoretisch-logischer Erwägungen, ist die Mikrostrukturlehre zu prüfen. Im einzelnen muß diese Prüfung den Naturwissenschaften selbst überlassen werden; doch ist über einige besonders wichtige Tatsachen und Überlegungen hier zu berichten.

Allgemeine Begründung der physikalischen Molekulartheorie. Wir werden nur einige *sachliche* Gründe für die Molekular- und Atomhypothesen betrachten, dagegen Motive von lediglich *historischer* Bedeutung zurückstellen. Wir deuten nur an, daß die Triumphe der Himmelsmechanik unsere Hypothesen empfehlen mußten. Jene Triumphe wurden ermöglicht durch den Bau der Sternenwelt, insbesondere des Sonnensystems. Da handelt es sich um räumlich getrennte Teileinheiten, die über die Abstände hinweg durch die Schwerkraft zusammengehalten werden. Die Aussicht schien verlockend, durch Annahme eines Aufbaues der Materie aus diskreten, durch ähnliche Kräfte verbundenen Teilchen (Molekeln bzw. Atomen) in ebenso erfolgreicher Weise alle physikalischen und chemischen Erscheinungen mechanisch verständlich zu machen. Dies der Himmelsmechanik entlehnte Ideal einer atomistisch-mechanistischen Physik war lange Zeit herrschend; in Helmholtz' grundlegender Arbeit über den Energieerhaltungssatz (1847) z. B. wird es ausgesprochen. Dann kam die den Strukturlehren feindliche Stimmung; ihr Einfluß, der etwa um 1890 und noch in einer Reihe von folgenden Jahren groß war, nahm jenen historischen Motiven die Kraft. —

Dünne Metallschichten.

Die körnige Struktur einer Substanz offenbart sich am einfachsten bei der Herstellung dünner Schichten aus derselben. Wir wollen uns einen Haufen von Metallkörnchen, der auf einer Glasplatte liegt, vorstellen. Wir können diesen Haufen zu einer gleichmäßigen Schicht verteilen und die Schicht immer weiter ausbreiten; sie wird dabei dünner und dünner. Schließlich wird ihre Dicke sich

dem Durchmesser der Metallkörnchen nähern; dann wird bei weiterer Ausbreitung der Körnchen unsere Schicht Lücken bekommen. Diese Lücken können wir sehen. Sie machen sich aber noch in anderer, von der Sichtbarkeit unabhängiger Weise geltend, z. B. dadurch, daß der elektrische Widerstand einer solchen Schicht stark wächst, wenn sie anfängt, Lücken zu bekommen.

Damit hätten wir eine Probe darauf, ob eine scheinbar homogene Substanz aus unsichtbar feinen Körnchen aufgebaut ist. Wir werden die Substanz immer mehr ausbreiten und zusehen, wie sich dabei ihr Widerstand gegen strömende Elektrizität verhält. Wenn wir aus der Schicht stets einen Streifen von gleicher Länge und gleichem Querschnitt herausnehmen, so bleibt ihr Leitungswiderstand unverändert, solange sie noch nicht außerordentlich dünn ist. Anders verhält es sich aber bei äußerst feinen Metallschichten, wie sie sich auf dem Glase vielgebrauchter Röntgenröhren niederschlagen. Der Widerstand hinreichend fein verteilter Schichten ist größer, als er entsprechend der Länge und dem Querschnitt derselben sein müßte. Wir werden daher vermuten, daß solche Schichten beginnen, löcherig zu werden, daß sie eine körnige Struktur des Metalles verraten. Während der Leitungswiderstand einer nicht sehr dünnen Metallschicht beim Erwärmen erheblich wächst, zeigt sich bei äußerst feinen Metallüberzügen kein Wachsen, zuweilen aber ein Sinken des Widerstandes bei Erhitzung. Auch dies tut dar, daß zwischen dickeren und sehr dünnen Schichten ein wesentlicher Unterschied besteht; das ist wohl zu verstehen, wenn bei starker Ausbreitung einer Schicht der Zusammenhang zwischen ihren Teilen sich lockert.

Das Löcherig-Werden einer Metallschicht verrät sich in anderer Weise, wenn dieselbe eine Platte eines zweiten Metalles bedeckt. Stellen wir zwei Platinbleche, deren eines von einer völlig bedeckenden Haut von Zink eingeschlossen ist, in eine geeignete Lösung, so erhalten wir ein galvanisches Element mit einer erheblichen elektromotorischen Kraft. Wird aber der Zinküberzug löcherig, so wird diese elektromotorische Kraft sehr klein. Man kann sowohl stärkere wie auch sehr dünne gleichmäßige Metallhäute auf Platinblech durch den galvanischen Strom niederschlagen; ein derartiges Verfahren dient ja gegenwärtig zum Vernickeln, Vergolden usw. Solange der Metallüberzug auf dem einen der beiden in eine Lösung tauchenden Platinbleche dicker ist als etliche $\mu\mu$, bleibt die elektromotorische Kraft die gleiche wie beim stärksten Überzug; läßt man aber die Metallhaut noch feiner werden, so sinkt die elektromotorische Kraft plötzlich und schnell, gerade so, als ob der Überzug löcherig geworden wäre. Wenn derselbe aus einzelnen Metall-Körnern oder „-Molekeln" besteht, muß dies natürlich eintreten, wenn die Dicke der Metallhaut sich dem Durchmesser der Molekel nähert. Die elektromotorische Kraft sinkt nun plötzlich, wenn die Schichtdicke auf 2,5—0,7 $\mu\mu$ herabgeht; bei verschiedenen Metallen ist der Betrag etwas verschieden. Wir werden also vermuten, daß diese an der Grenze ultramikroskopischer Sichtbarkeit liegenden Werte nicht mehr allzuweit von der Größe der Moleküle entfernt sind. Der Durchmesser der Körnchen, aus denen sich jene Metallhäute aufbauen, mag immerhin noch erheblich kleiner sein; die

Körnerschicht mag löcherig, durchlässig werden, bevor sie die Feinheit des einzelnen Kornes erreicht.

Nun kann man allerdings mit Recht gegen unsere Überlegung einwenden, auch eine durch und durch homogene, strukturlose Substanz könne schließlich löcherig werden, wenn man sie immer weiter ausbreite. Die Metallhäute, von denen die Rede war, fallen vielleicht nicht überall genau gleich dick aus. So wird es erklärlich, daß sie schließlich Löcher bekommen, wenn wir sie allzu dünn machen wollen. Allerdings ist diesem Einwande gegenüber auf die merkwürdige Tatsache hinzuweisen, daß bei einem bestimmten Metall das Löcherig-Werden immer bei derselben Schichtfeinheit beginnt; dies spricht nicht gerade dafür, daß es sich um eine mehr zufällige Erscheinung handelt.

Flüssigkeitshäutchen.

Es kommt aber hinzu, daß dünne Schichten ganz anderer, nämlich flüssiger Substanzen, gleichfalls unzusammenhängend zu werden scheinen, wenn sie ungefähr so fein werden, wie ein Kupferniederschlag auf Platinblech, der löcherig zu werden beginnt. Auf Wasser kann man äußerst dünne Ölhäute mit Hilfe feiner Kampferteilchen nachweisen, weil solche Häute die lebhaften Bewegungen hemmen, welche Kampferpartikelchen auf einer reinen Wasseroberfläche ausführen. Indem nun Lord Raleigh eine solche Ölhaut immer weiter ausbreitete, fand er, daß sie ihre hemmende Wirkung verliert, wenn sie dünner wird als etwa 1,6 $\mu\mu$; ihr Zusammenhang scheint also bei solcher Ausbreitung locker zu werden. Zu einem entsprechenden Ergebnis kam Röntgen, der den Zusammenhang der Ölhaut durch ihre Fähigkeit prüfte, einem feinen Gasstrahl den Zutritt zum Wasser zu wehren; diese Fähigkeit geht verloren, wenn die Dicke der Haut unter 2 $\mu\mu$ herabsinkt. Wird die Ölschicht noch weiter ausgebreitet, bis sie, falls sie das Wasser noch gleichmäßig bedecken würde, eine Dicke von 0,5 oder 0,3 $\mu\mu$ haben müßte, so entzieht sie sich nach Röntgen und Oberbeck schließlich dem Nachweis.

Recht feine Flüssigkeitshäute entstehen an Seifenblasen. Bei einer vor Luftströmungen geschützten Seifenblase oder sonstigen Seifenwasserhaut sinkt die Flüssigkeit immer mehr nach unten. Die Haut wird so in ihren oberen Teilen immer dünner, bis sie schließlich an der dünnsten Stelle ihren Zusammenhang verliert, was zum Platzen des Ganzen führt. W. Thomson hat durch rechnerische Überlegung dargetan, daß die Flüssigkeitshaut höchstens eine Feinheit von $^1/_{10}$ $\mu\mu$ erreichen kann, bevor sie ihren Zusammenhang verliert; seine Rechnung schließt keineswegs aus, daß dies schon bei größerer Dicke geschieht.

Zusammenfassend können wir sagen, daß Häute aus recht verschiedenen Stoffen ihren dichten Zusammenhang verlieren, wenn ihre Feinheit die Größenordnung von 1 $\mu\mu$ erreicht.

Übrigens zeigen sich an Flüssigkeitshäuten noch andere Erscheinungen, die für die Molekularlehre ins Feld geführt werden dürfen. Wenn eine Substanz durch und durch homogen und strukturlos wäre, so wäre ein kleiner Teil, eine dünne Schicht, durchaus ein verkleinertes Abbild eines großen, einer dicken Lage. Anders hingegen, wenn ein Stoff eine innere Struktur besitzt, aus Teileinheiten aufgebaut ist. Die Struktur ist dann bei einer dünnen Haut im Ver-

hältnis zu derselben viel gröber als bei einer dicken Haut. Die relative Grobheit der Struktur dünner Häute wird sich in den Eigenschaften der letzteren verraten; manche Eigenschaften werden bei hinreichend dünnen Häuten wesentlich andere sein können als bei dicken. Lassen wir eine Haut dünner und dünner werden, so werden sich also vermutlich manche Eigenschaften wesentlich ändern, wenn wir bei der Verfeinerung der Haut zu Dimensionen kommen, bei denen ihre etwaige Struktur relativ zur Dicke eine gewisse Grobheit erlangt.

Die dunklen Flecken der Seifenblasen.

In der Tat hat bereits Newton einschlägige Erscheinungen an Seifenblasen sorgfältig beobachtet und anschaulich beschrieben. Er bedeckte die farbenschillernden Blasen mit einem Glas, um sie vor störender Luftbewegung zu schützen. „Die Farben zeigten sich dann in einer äußerst regelmäßigen Reihenfolge in Gestalt konzentrischer Ringe, die die höchste Stelle der Blase umgaben. Und während die Blase durch das beständige Herabziehen des Wassers dünner wurde, dehnten sich diese Ringe langsam aus und überzogen die ganze Blase, indem sie der Reihe nach bis an das untere Ende der Blase herabsanken und hier einer nach dem andern verschwanden. Nachdem die sämtlichen Farben an der Spitze hervorgetreten waren, entstand in der Mitte der Ringe ein kleiner, runder, schwarzer Fleck . . ., der sich fortwährend ausdehnte und zuweilen mehr als einen halben oder dreiviertel Zoll breit wurde, bevor die Blase zerplatzte. Anfangs dachte ich, es sei an dieser Stelle kein Licht von dem Wasser reflektiert worden, allein bei sorgfältiger Betrachtung sah ich innerhalb derselben mehrere kleinere runde Flecken, die viel schwärzer und dunkler als der Rest erschienen, wodurch ich erkannte, daß an den anderen Stellen, die nicht so dunkel als diese Flecken waren, etwas Licht reflektiert wurde. Bei weiteren Beobachtungen fand ich, daß ich erkennen konnte, wie nicht nur von dem großen schwarzen Fleck, sondern auch von den kleineren dunklen Flecken innerhalb desselben die Bilder mancher Gegenstände (z. B. einer Kerze und der Sonne) sehr schwach reflektiert wurden."

Messungen nach zwei völlig verschiedenen Methoden ergaben, daß die Flüssigkeitshaut zunächst stetig dünner wird bis zu 50 $\mu\mu$; dann kommt mit einmal eine weitere Verdünnung auf 10 $\mu\mu$, wodurch der dunkle Fleck, d. h. eine nur wenig Licht reflektierende Haut entsteht. Bei der Dicke von 50 $\mu\mu$ macht sich plötzlich die Molekularstruktur in neuartiger Weise geltend. „Das plötzliche Auftreten und die anhaltende Beständigkeit des schwarzen Häutchens beweisen einen Satz, der in der Molekulartheorie von fundamentaler Wichtigkeit ist: Die Spannung des Häutchens, die sich nicht merklich ändert, wenn die Dicke größer als $^{50}/_{1\,000\,000}$ mm ist, sinkt auf ein Minimum und beginnt wieder zuzunehmen, wenn die Dicke auf $^{10}/_{1\,000\,000}$ mm vermindert wird. Es scheint unmöglich, diese Tatsache durch irgendein Gesetz über die zwischen den Teilchen des Häutchens wirkende Kraft zu erklären, wenn wir das Häutchen als homogen betrachten; wir sind vielmehr zu der Annahme gezwungen, daß sie durch die molekulare Heterogenität bedingt wird." (W. Thomson.)

Wesentlich gleichartige Erscheinungen wie bei Wasser- bzw. Seifenlösungshäuten zeigen sich bei sich ausbreitenden und dünner werdenden Ölschichten

auf Wasser. Ist deren Dicke bis auf ungefähr 100 $\mu\mu$ gesunken, so entsteht wiederum mit einem Male eine viel feinere Schicht von etwa 20 $\mu\mu$, welche nicht mehr den Glanz der dickeren Schicht aufweist.

Wir kommen zu dem Resultat, daß Materie in hinreichend dünner Schicht sich erheblich anders verhält als Materie in dickerer Schicht. Das wird verständlich, wenn wir der Materie eine Mikrostruktur zuschreiben, die sich in besonderer Weise geltend macht, wenn sie im Verhältnis zur Schichtendicke einen gewissen Grad von Grobheit besitzt.

Aber auch in anderer Hinsicht verhält sich scheinbar homogene Materie so, als ob sie eine körnige Mikrostruktur besäße; sie verhält sich ebenso wie Substanzen, bei denen eine Struktur direkt nachweisbar ist, und wir können daher die Mikrostrukturhypothese auf einen Analogieschluß stützen. Die atmosphärische Luft zeigt unter dem Einfluß der Sonnenstrahlung Lichterscheinungen, wie sie auch vorkommen bei Flüssigkeiten oder festen Körpern, die durch zahlreiche sehr kleine eingelagerte Teilchen getrübt sind, durch Teilchen, die eventuell ultramikroskopisch wahrgenommen werden können. Sendet man durch eine solche mit ultramikroskopisch feinen Teilchen reich durchsetzte Substanz einen Lichtstrahl, so beginnen die Teilchen selbst zu leuchten. Sie senden senkrecht zu dem erregenden Lichtstrahl ein Licht von besonderer Art aus, welches man als polarisiert zu bezeichnen pflegt. Dieses seitlich ausgestrahlte polarisierte Licht ist um so schwächer, je feiner die winzigen Teilchen sind.

Das polarisierte blaue Himmelslicht.

Nun hat man längst beobachtet, daß der blaue Himmel uns polarisiertes Licht zusendet in einer Richtung, die auf den Sonnenstrahlen senkrecht steht. Das polarisierte blaue Himmelslicht rührt von der durch die Sonne bestrahlten Atmosphäre her. Unsere Luft muß also auch winzige Teilchen enthalten, die unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen polarisiertes Licht aussenden, ähnlich wie die Teilchen in getrübten Substanzen. Nun sind freilich in der Luft feine Staubteilchen vorhanden. Doch zeigt sich jene Erscheinung auch in der reinsten Luft. Das von einem kleinen Raumteil, sagen wir von einem Liter, reiner Luft senkrecht zur Richtung der Sonnenstrahlen ausgesandte Licht ist allerdings unwahrnehmbar schwach (nur weil die Lufthülle so dick ist, summieren sich die Wirkungen zu der Erscheinung der intensiven Himmelsbläue). Die Teilchen in der Luft müssen demnach ungemein klein sein, kleiner als die feinsten ultramikroskopisch sichtbaren Partikelchen. Wenn wir dies in Betracht ziehen und bedenken, daß auch die reinste Luft jenes polarisierte blaue Licht aussendet, kommen wir zu der Vermutung, daß die Luft s e l b s t aus überaus feinen Teilchen aufgebaut ist, und daß diese Luftteilchen s e l b s t es sind, welche unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen blaues polarisiertes Licht aussenden. Die rechnerische Behandlung der Erscheinung bestärkt diese Vermutung. Sie liefert auch die Zahl der Teilchen (der „Moleküle"), die in einem Kubikzentimeter Luft bei 0° und Atmosphärendruck enthalten sind, in ziemlich guter Übereinstimmung mit anderen Methoden. Jene Zahl wird nach ihrem ersten Ermittler als die Loschmidtsche bezeichnet.

Tyndall konnte die Erscheinung der Himmelsbläue übrigens künstlich nachahmen mit Hilfe von Schwefelkohlenstoffdampf. Die gleiche Erscheinung beobachtete er auch an dem reinsten Wasser, welches er erhalten konnte. Wenn nicht (was nicht ganz auszuschließen ist) doch noch feine in dem Wasser suspendierte Fremdkörperchen hier für das Phänomen verantwortlich zu machen sind, so würde es den Aufbau des Wassers aus winzigen Teilchen dartun.

Übrigens können wir das Himmelsblau im Groben noch viel einfacher nachahmen. Senden wir durch eine stark mit Wasser verdünnte Milch einen Strahl weißen Lichtes, so erscheint die Flüssigkeit bläulich; der Lichtstrahl aber hat nach dem Durchtritt durch die Flüssigkeit eine gelbliche bis rötliche Farbe angenommen. Diese Farberscheinungen rühren von den feinen in der Milch enthaltenen Teilchen her. Wie jenes Licht nach dem Passieren der verdünnten Milch, so ist auch das Licht der Sonne, trotzdem es die ,,blaue" Luft passiert hat, nicht etwa selbst blau, sondern (besonders bei tiefer stehender Sonne) gelblich bis rötlich. Die Luft ist eben nicht in dem Sinne blau, wie eine blaue Glasplatte oder wie Kupfervitriollösung; sie erscheint blau senkrecht zum Lichtstrahl, wie verdünnte Milch, weil sie, wie diese, ungezählte feine Partikelchen enthält, bzw. aus solchen besteht.

Beugung von Röntgenstrahlen in Kristallen.

Beim Durchgang des Lichtes durch feine Strukturen ergeben sich unter Umständen noch andere Farberscheinungen, die jene Strukturen verraten können. Hierher gehört z. B. der Hof um den Mond (oder die Sonne). Ein solcher Hof entsteht infolge von kleinen Wassertröpfchen, die in der Luft schweben. Doch handelt es sich nicht um Brechung des Lichtes, wie beim Regenbogen, sondern um die sog. Beugung, d. h. um Erscheinungen, die durch Abweichung des Lichtes von der geradlinigen Fortpflanzungsrichtung sich ergeben. Aus dem Radius des Hofes kann man denjenigen der Wassertropfen berechnen. Solche Beugungsphänomene entstehen nun auch, wenn man einen Lichtstrahl durch eine durchsichtige Platte fallen läßt, die hinreichend feine, gleiche, dicht und regelmäßig verteilte Pünktchen trägt. Ein dünner Lichtstrahl geht nicht einfach geradlinig durch solch eine regelmäßige Punkt- oder auch Gitterstruktur hindurch, sondern es findet eine ,,Beugung" statt, derart, daß etwa auf einem Schirm, den der Strahl nach dem Passieren der Platte trifft, eine regelmäßige Lichterscheinung um einen hellen Punkt herum sichtbar wird. Auch wenn mehrere solche regelmäßig punktierte Platten (oder sog. Kreuzgitter) in regelmäßiger Anordnung hintereinander aufgestellt werden, erzeugt ein einfacher, durch die Punkt- (oder Gitter-)Struktur hindurchgehender Lichtstrahl auf einem Schirme ein derartig zusammengesetztes Bild. Die Dimensionen eines solchen Bildes erlauben gewisse Rückschlüsse auf die Größenverhältnisse der Punktstruktur.

Wenn die Materie überhaupt eine körnige Struktur hat, so ist anzunehmen, daß diese in den Kristallen von besonderer Regelmäßigkeit ist. Die Regelmäßigkeit im äußeren Bau und in der Spaltbarkeit der Kristalle, sowie in anderen physikalischen Eigenschaften derselben, weisen auf diese Vermutung hin. Nach der Molekularhypothese müßten demnach die Kristalle regelmäßige und feine

Anordnungen von „Punkten" oder Körnchen, den Molekülen, darstellen. Man könnte daher auf den Gedanken kommen, daß ein dünner Lichtstrahl nach dem Passieren einer Kristallplatte auf einem Schirm ein Beugungsbild liefern müsse, wie wir es oben angedeutet haben. Indessen ist nichts dergleichen zu sehen; und dies ist wohl verständlich, weil die Mikrostruktur der Kristalle zu fein ist, um sich in solcher Weise geltend zu machen. Wir können auch umgekehrt sagen, daß das Licht sozusagen zu grob (nämlich von zu großer Wellenlänge) sei, um in der gedachten Weise die Mikrostruktur der Materie zu verraten. Es gibt aber dem Licht verwandte Strahlungen von sozusagen feinerer Art, nämlich die undurchsichtige Körper durchdringenden Röntgenstrahlen. (Ihre Wesensverwandtschaft mit den Lichtstrahlen kann gegenwärtig als sichergestellt gelten. Aber die Röntgenstrahlung ist sozusagen 10 000 mal feiner als das Licht, d. h. sie hat etwa 10 000 mal kürzere Wellen; darauf beruhen ihre merkwürdigen Eigenschaften.) Die Röntgenstrahlen liefern in der Tat nach dem Durchgang durch eine geeignete Kristallplatte auf einem (Fluoreszenz-) Schirm oder einer photographischen Platte ein Beugungsbild, das die regelmäßige innere Struktur des Kristalles verrät. Ja es kann aus den Dimensionen der Beugungsfigur auf Dimensionen jener Struktur zurückgeschlossen werden.

Hier liegt ein Beweis für die Molekularhypothese vor, der sehr überzeugend wirken muß. Das regelmäßige, zusammengesetzte Bild, das der einfache feine Röntgenstrahl nach dem Passieren des Kristalles auf dem Schirme liefert, ist in anderer Weise nicht wohl zu erklären. Wir können durch einen einfachen Analogieschluß die Mikrostrukturannahme begründen: Wie das Lichtbeugungsbild eine nachweisbare Struktur verrät, durch die das Licht hindurchgegangen ist, so wird auch das entsprechende Röntgenbild auf einer feinen Struktur im Kristall beruhen, obwohl letzterer durch und durch homogen erscheint.

Es kommt für uns nicht in Betracht, daß bei diesen sehr bemerkenswerten Experimenten, die von M. Laue und seinen Mitarbeitern W. Friedrich und P. Knipping angestellt worden sind, eigentlich noch etwas kompliziertere Vorgänge von Bedeutung sind, insofern als die ursprünglichen Röntgenstrahlen im Kristall sekundäre Röntgenstrahlen erregen, auf denen die Bildung der Figur auf dem Schirm beruht. An der Bündigkeit der Beweisführung wird dadurch nichts geändert.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß man die in Frage stehenden Punktfiguren auf andere als molekulare Strukturen zurückzuführen versucht hat; indessen stießen die anderen Erklärungsversuche auf große Schwierigkeiten.

Gerade die Röntgenstrahlen könnten vielleicht in Zukunft dazu dienen, die Mikrostruktur der Materie irgendwie indirekt sichtbar zu machen. Auch wird es vielleicht gelingen, vereinzelte leuchtende Moleküle zu sehen. Zurzeit sind bereits die Lichtblitze sichtbar, welche einzelne, von radioaktiven Substanzen ausgeschleuderte Heliummoleküle (= -atome; denn das Heliummolekül ist einatomig) erzeugen, wenn sie auf einen Zinksulfidkristall oder einen Diamant treffen. Wir sehen zwar nicht die einzelnen Moleküle, die sog. „α-Teilchen"

Durch α-Teilchen (Heliummoleküle oder -atome) hervorgerufene Szintillation (Funkeln).

selbst, die von radioaktiven Substanzen produziert werden, und die sich zu einem Quantum Heliumgas ansammeln lassen. Aber wir sehen die Wirkungen der einzelnen Teilchen als Lichtblitze auf dem Zinksulfid oder dem Diamant; man kann die Teilchen somit zählen und ihre Masse bestimmen. Die Sache ist ähnlich, wie wenn wir nachts den Anprall der einzelnen Hagelkörner an unser Fenster hören, ohne die Körner selbst sehen zu können, und dann am Morgen den am Boden angesammelten Hagel erblicken. Wir empfangen in jenen Lichtblitzen, in der „Szintillation", eine direkte Kunde eines Molekularbombardements. Neuerdings konnte C. T. R. Wilson die Bahnen einzelner Heliummoleküle, die von radioaktiven Substanzen ausgeschleudert wurden, sichtbar machen und photographieren. Jedes einzelne dieser elektrisch geladenen Moleküle ließ in Wasserdampf eine sichtbare Spur zurück. Die Photographien Wilsons zeigen das strahlige Aussprühen der Moleküle von dem radioaktiven Körper. Angesichts solcher Tatsachen wird man schwerlich meinen dürfen, die Lehre von den Molekülen, von der Körnerstruktur der Materie, sei eine bloße Fiktion.

Wir haben z. T. Argumente aus allerjüngster Zeit angeführt und sind auf die Geschichte der Begründung der Molekulartheorie nicht genauer eingegangen. Es mag immerhin eine Tatsache noch Erwähnung finden, die seit langer Zeit einen gewichtigen Grund für die Mikrostrukturlehre abgegeben hat: die Dispersion des Lichtes, d. h. etwa die Auflösung weißen Lichtes in ein Spektrum, ein Band der Regenbogenfarben, die durch ein Prisma zustande kommt. Wäre ein Glasprisma durch und durch homogen und strukturlos, so wäre die Zerlegung des Lichtes in die Regenbogenfarben unbegreiflich. Dagegen kann eine in geeigneter Weise ausgestaltete Mikrostrukturlehre diese Lichtzerlegung verständlich machen. Wie sie dies vermag, kann hier nicht dargelegt werden, und darum nennen wir diese Begründung der Mikrostrukturlehre trotz ihrer historischen Bedeutung nur anhangsweise. Die neuere Umgestaltung der Lichthypothese hat dem Schluß auf eine Mikrostruktur der lichtzerstreuenden Substanzen prinzipiell keinen Abbruch getan, hingegen einen tieferen Einblick in diese Struktur möglich gemacht.

Die Dispersion des Lichtes.

Indem wir im folgenden den spezielleren Ausbau der Mikrostrukturlehre darstellen, stoßen wir auf weitere, z. T. besonders triftige Gründe für die ganze Hypothese.

Molekulartheorie der Aggregatzustände. Kinetische Gastheorie. Die Molekularhypothese — wir sprechen wegen der sehr befriedigenden Begründung der Lehre auch von einer Molekulartheorie — ist wohl geeignet, die Verschiedenheit und den Zusammenhang der Aggregatzustände zu erklären.

Die Eigenschaften einer aus Teileinheiten aufgebauten Masse hängen erstens von der Natur der Teileinheiten, zweitens von der Art ihrer Zusammenfügung ab. Ein Ziegelhaufen unterscheidet sich von einem Sandhaufen, aber auch von einem durch sorgfältige Aufeinanderschichtung der Ziegel erzeugten Block.

Betrachten wir nun die verschiedenen Aggregatzustände eines Stoffes, z. B. des Wassers, so erhebt sich die Frage, wie sie aufzufassen sind. Ändern

sich die Baueinheiten, wenn Eis in Wasser, wenn Wasser in Dampf übergeht? Verwandeln sich dann Eismoleküle in von ihnen verschiedene Wassermoleküle, bzw. Wassermoleküle in Dampfmoleküle? Oder bleiben die Bausteine, die Moleküle, bei diesen Umwandlungen unverändert, während die Art der Zusammenfügung der Moleküle bei Eis, Wasser und Dampf verschieden ist?

Die Art der Zusammenfügung der Moleküle bedingt den Aggregatzustand.

Die Physik gibt die Antwort, daß die Art der Zusammenfügung der Moleküle den Aggregatzustand bedingt. Bei vielen Stoffen bleibt das Gewicht des Moleküles unverändert bei Veränderungen des Aggregatzustandes. Daß bei solchen Veränderungen auch Änderungen der Moleküle, Zerteilungen in kleinere Bausteine und Vereinigungen von solchen, eine Rolle spielen können, darf hier außer Betracht bleiben; entscheidend bleibt doch die Art der Zusammenfügung der Moleküle.

Zu dieser Überzeugung führt schon ein Vergleich des festen Zustandes mit dem flüssigen. In einem festen Eisenstück hat jedes Teilchen seine bestimmte, kaum verrückbare Lage; im flüssigen Eisen dagegen kann man die Teilchen leicht durcheinanderrühren. Im festen Aggregatzustand herrscht offenbar eine festere, innigere Zusammenfügung der Teile.

In Anbetracht der Möglichkeit, die Aggregatzustände hin und her in einander überzuführen, erscheint die Annahme naheliegend, daß bei solchem Wechsel die Baueinheiten die gleichen bleiben, während die Art der Zusammenfügung sich ändert. Es kommt hinzu, daß es besondere Umstände gibt, unter denen die Aggregatzustände kontinuierlich in einander übergehen; der Unterschied zwischen Flüssigkeit und Dampf verschwindet unter gewissen Umständen.

Folgende Analogie kann die molekulartheoretische Auffassung der Aggregatzustände nahelegen und verdeutlichen. Dieselben feinen Sandteilchen können, dicht und fest zusammengefügt, einen Sandstein, dicht aber leicht gegeneinander verschiebbar aufgeschichtet, einen Sandhaufen bilden; wenn sie endlich in relativ großer Entfernung von einander durcheinander wirbeln, so bilden sie eine Sandstaubwolke. Der feste Sandstein, der auf abschüssiger Bahn ins Fließen kommende Sandhaufen und die Sandwolke gleichen in mancher Beziehung festen, flüssigen und dampf- oder gasförmigen Körpern. Wir können ein solches Bild noch weiter ausmalen, indem wir uns den Boden eines Gefäßes mit einem feinen Staube, z. B. mit Kohlepulver, bedeckt denken. Dieses Pulver möge durch irgend eine Bewegung, etwa eine sehr energische Luftströmung, die wir in dem Gefäß erzeugen, aufgewirbelt werden. Die Staubschicht am Boden wird allmählich verschwinden, wie eine verdampfende oder verdunstende Flüssigkeit; der aufgewirbelte Staub aber wird das ganze Gefäß füllen, wie ein dampf- oder gasförmiger Körper sich bis zu den Wänden ausdehnt, die ihn einschließen. Die Analogie geht aber noch weiter. Die Staubschicht ist wenig zusammendrückbar, läßt vielleicht wenig Licht durch, leitet die Elektrizität und die Wärme vielleicht gut; die Staubwolke ist leicht (etwa durch Eintreiben eines Kolbens in das Gefäß) komprimirbar, läßt leichter Licht durch, leitet Elektrizität und Wärme schlechter. Nun sind aber auch die Flüssigkeiten schwer zusammendrückbar, die Gase leicht; die Gase sind oft lichtdurchlässiger als die entspre-

chenden Flüssigkeiten und von schlechterer Leitfähigkeit für Elektrizität und Wärme.

Andere Eigenschaften bleiben bei Staubschicht und Staubwolke dieselben; so vor allem das Gewicht der ganzen Staubmasse, mag von ihr viel oder wenig aufgewirbelt oder nach Beruhigung der Bewegung wieder niedergesunken sein. Ebenso bleibt das Gewicht einer flüssigen (oder festen) Masse beim Verdampfen (Sublimieren) und bei der umgekehrten Verwandlung unverändert. Wie das Gewicht verhält sich auch die Trägheit, d. h. der Widerstand der Stoffe gegen eine Änderung ihres Zustandes der Ruhe oder Bewegung; wird die Staubschicht in eine Staubwolke, die Flüssigkeit in ein Gas verwandelt, so beeinflussen diese Zustandsänderungen die Trägheit nicht. Für die chemischen Eigenschaften gilt Ähnliches. Wir wählen z. B. Kohlenstaub einerseits und Spiritus andererseits. Die Kohlenstaubschicht wie die Staubwolke sind brennbar; nur erfolgt in der Staubwolke, die mit Luft durchsetzt ist, die Verbrennung energischer, wie ja manche Unglücksfälle in Bergwerken zeigen; ebenso brennen flüssiger wie vergaster Spiritus, nur ist nach Vergasung und etwaiger Vermischung mit Luft die Verbrennung wiederum eine energischere.

Eigenschaften der Stoffe und Eigenschaften der Moleküle.

Wenn wir auf Grund solcher Analogien die Aggregatzustände deuten, dann werden wir geneigt sein, diejenigen Eigenschaften, die in allen Aggregatzuständen völlig oder doch wesentlich die gleichen bleiben, den Bausteinen zuzusprechen. Wir werden also etwa Gewicht und Trägheit der Gesamtmasse als Summe der Gewichte und Trägheiten der Moleküle betrachten; denn bei diesen Eigenschaften zeigt sich eine völlige Unabhängigkeit von der Anordnung und Zusammenfügung der Teilchen. Auch die chemischen Eigenschaften werden im wesentlichen in der Natur der Moleküle begründet sein; doch ist bei der Äußerung der chemischen Kräfte auch die Zusammenfügung der Moleküle nicht belanglos. Bei anderen Erscheinungen kommt sowohl die Natur der Moleküle wie ihre Anordnung (und damit der Aggregatzustand der Stoffe) entscheidend zur Geltung; es kann bei derselben Substanz unter gewissen Umständen die Anordnung der Moleküle (der Aggregatzustand), unter anderen die Natur derselben ausschlaggebend sein. Im festen und flüssigen Zustand bestimmt der Aggregatzustand im wesentlichen die Beschaffenheit des von einem Stoffe bei hoher Glut ausgesandten Lichtes, im Gaszustand aber ist die Natur der Bausteine entscheidend. Unsere Analogie macht leicht deutlich, warum im gasförmigen Zustande die Natur der einzelnen Moleküle am reinsten zum Ausdruck kommen kann; die Moleküle sind, wenn die Analogie mit der Staubwolke in diesem Punkte stichhaltig ist, im Gaszustande am weitesten voneinander entfernt und stören sich so am wenigsten gegenseitig (z. B. bei der Lichtaussendung).

Übrigens muß die Art des Aufbaues, der Zusammenfügung, mitbedingt sein von der Beschaffenheit der Bausteine, der Moleküle. So fügen sich ja auch etwa Bruchsteine in anderer Weise zusammen wie Ziegelsteine. In der Tat sehen wir, wie bei verschiedenen Stoffen das Zusammenhalten der Teilchen im festen und flüssigen Zustande ein ganz verschiedenes ist; die Eisenmoleküle hängen viel fester zusammen als die Bleimoleküle. Die Verschiedenheit der

Moleküle macht es auch verständlich, daß unter denselben Umständen (Temperatur, Druck) der eine Stoff fest ist wie Eisen, der andere flüssig wie Quecksilber und der dritte gasförmig wie Wasserstoff.

Der Aufbau eines Stoffes wird am wenigsten von der Beschaffenheit der Bausteine abhängig sein, wenn diese nicht eng zusammengefügt sind, sondern große Abstände besitzen. Staubwolken haben einen im wesentlichen gleichen Aufbau, gleichgültig ob sie aus Kohlenstaub, Sandstaub oder anderen Stoffen bestehen. In der Tat scheint auch der Bau der verschiedenen Gase im wesentlichen ganz der gleiche zu sein. Das dokumentiert sich in dem gleichartigen Verhalten der Gase gegen Temperatur, Druck usw. Die Physiker nehmen auf Grund der Beobachtungstatsachen an, daß sogar die Zahl der Moleküle in einem Liter bei gleichem Druck und gleicher Temperatur stets dieselbe ist, wenn es sich auch um völlig verschiedene Gase, wie Wasserstoff, Sauerstoff, Chlor, Stickstoff usw. handelt.

Strengere Begründung der molekulartheoretischen Auffassung der Aggregatzustände.

Die bisherigen Gründe werden die molekulartheoretische Deutung der Aggregatzustände zwar allenfalls angängig erscheinen lassen; es fehlt ihnen aber die zwingende überzeugende Kraft. Diese kommt in weit höherem Maße rechnerischen Überlegungen zu, welche die Konsequenzen unserer Anschauung entwickeln, die auch quantitativ in sehr erfreulicher Weise mit der Erfahrung übereinstimmen. Besonders durchsichtig sind die Verhältnisse bei Gasen, und da hat in der Tat die Molekularlehre schon verhältnismäßig früh ihre Triumphe gefeiert; doch auch bei der Betrachtung der anderen Aggregatzustände erwies sie sich sehr erfolgreich. Und auch die teils kontinuierlichen, teils diskontinuierlichen Übergänge zwischen Aggregatzuständen (zwischen Flüssigkeiten und Dämpfen) werden in ihren quantitativen Beziehungen verständlich (van der Waals).

Nimmt man einmal an, daß eine Substanz in verschiedenen Aggregatzuständen aus den gleichen Teilchen aufgebaut ist, was, wie dargelegt wurde, im Verfolg der Molekulartheorie sehr nahe liegt, so ergeben sich fast von selbst weitere Konsequenzen bezüglich des Unterschiedes der Aggregatzustände.

Im festen Zustande halten die einzelnen Moleküle so fest zusammen, daß sie nur schwer voneinander zu entfernen sind. Wenn wir etwa durch Zug an einer Klaviersaite deren Moleküle ein wenig weiter auseinander zerren, so kehren sie nach dem Aufhören des Zuges — falls dieser nicht allzu stark war — in die frühere Lage zurück; wir werden also Kräfte annehmen, die die Moleküle zusammenhalten und eventuell zu nähern trachten. Wenn wir uns bemühen, die Teilchen eines festen Körpers näher zusammenzubringen, so bemerken wir wiederum einen Widerstand, eine Kraft, die eventuell die gewaltsam genäherten Teilchen nach dem Aussetzen der äußeren Einwirkung in die anfängliche Lage zurücktreibt. Bei einer Flüssigkeit sind die zusammenhaltenden Kräfte zwar so schwach, daß wir die Teilchen leicht auseinanderreißen und durcheinander wirbeln können; sie fehlen aber nicht ganz, wie schon das Zusammenhaften der Flüssigkeitsteilchen in einem Tropfen zeigt. Die repulsiven, sich einer Kompression widersetzenden Kräfte sind auch bei Flüssigkeiten stark.

Kinetische Gastheorie.

Bei Gasen aber scheinen die zusammenhaltenden Kräfte ganz zu fehlen. Wenn wir einem Gase einen leeren Raum eröffnen, so stürzen die Gasteilchen sofort in diesen hinein; dabei dehnt sich das Gas als Ganzes natürlich aus. Wenn Wasserdampf aus denselben Teilchen besteht wie Wasser und Eis, so müssen diese im Dampf viel weiter voneinander entfernt sein als im Wasser und im Eis; denn beim Verdampfen findet eine starke Ausdehnung statt; 1,09 ccm Eis von 0^0 liefern 1 ccm Wasser von 0^0 und 1650 ccm Dampf von 100^0. Trotzdem streben die Dampf- oder Gasteilchen noch immer weiter auseinander; sie streben auch im leeren Raume der Schwerkraft entgegen nach oben. Dies Verhalten kann nicht wohl durch die Repulsivkraft erklärt werden, die sich bei festen und flüssigen Körpern der Kompression widersetzt; denn diese Repulsivkraft treibt ja bei festen und flüssigen Stoffen die Teilchen keineswegs immer weiter auseinander.

Die Analogie mit der Staubwolke legt den Gedanken nahe, daß eine Gas- oder Dampfmenge bis zu den Wänden des einschließenden Gefäßes auseinanderstrebt, weil ihre Moleküle in schneller Bewegung durcheinanderfliegen; so füllt ja eine in einem Gefäß hervorgerufene Staubwolke dieses nur darum aus, weil ihre Teilchen in Bewegung sind. Wir kämen also zu der Vorstellung, daß die Moleküle eines Gases in beständiger Bewegung sind und so in jeden verfügbaren leeren Raum hineineilen, auch der Schwerkraft entgegen nach oben steigen können wie ein Geschoß. Der Druck, den jedes Gas auf die Wände des einschließenden Gefäßes ausübt, würde sich durch den beständigen Anprall sehr zahlreicher Gasmoleküle gegen diese Wände erklären. Natürlich werden die Moleküle auch gegeneinanderprallen. Dabei können sie in Rotation geraten, wenn sie nicht genau gerade gegeneinander stoßen, sondern sich nur seitlich treffen oder sich lediglich streifen. Die Entstehung von Rotationen durch seitliches Anstoßen kann man leicht bei Billardbällen beobachten.

Die kinetische Gastheorie, die ein scheinbar völlig ruhendes Gas als einen Schwarm überaus zahlreicher durcheinander tanzender Moleküle betrachtet, muß auf den ersten Blick allzu kühn erscheinen. Es gibt aber Beobachtungen, die deutlich dartun, daß in einem scheinbar ganz bewegungslosen Gase doch nicht alles in Ruhe sein kann. Schon folgende Erscheinung deutet auf die verborgene Bewegung hin. Wird auf ein schwereres Gas (z. B. auf grünes Chlor) vorsichtig ein leichteres (z. B. Luft) geschichtet, so dringt das schwerere Gas entgegen der Schwerkraft in das leichtere ein und vermischt sich mit ihm. Das ist durchaus verständlich, wenn die Teilchen beider Gase mit großer Geschwindigkeit und in relativ großen Abständen voneinander sich bewegen; die Moleküle des einen Gases werden dann eben zwischen die des anderen geraten.

Brownsche Molekularbewegung in Gasen und andere Bestätigungen der kinetischen Gastheorie.

Besonders bedeutsam aber ist es, daß man geradezu sehen kann, daß auch im scheinbar vollkommen ruhigen Gase unaufhörlich lebhafte Bewegung herrscht. Diese wird offenbar durch die sog. Brownsche Molekularbewegung, die bei Gasen zuerst von Bodaszewski festgestellt wurde (1881). Ein großer, schwerer Wassertropfen und ein massiges Staubkorn werden von sie treffenden Molekülen eines ,,ruhenden" Gases nicht merklich in ihrem Fall oder Flug beeinflußt.

Sie sind zu groß im Verhältnis zu den Molekülen; diese treffen in allen möglichen Richtungen auf, so daß ihre Stoßwirkungen sich derart kompensieren, daß sie für unsere Wahrnehmung verschwinden. Anders aber verhalten sich recht feine, doch immer noch im Mikroskop leicht sichtbar zu machende Teilchen, die in einem Gase schweben oder langsam niedersinken. Solche Rauchteilchen oder Salmiakstäubchen oder auch Flüssigkeitströpfchen (O. Lehmann u. a.) sind auch im scheinbar völlig ruhenden Gase stets in lebhafter, zitternder Bewegung. Wie diese Zitterbewegung zustande kommen sollte, wenn die Gase durch und durch homogen und ohne innere Bewegung wären, ist nicht einzusehen. Nach der kinetischen Gastheorie ist die merkwürdige Erscheinung jedoch leicht zu verstehen. Die kleinen Stäubchen oder Tröpfchen werden von den in allen möglichen Richtungen einhersausenden Molekülen bald hierhin, bald dorthin gestoßen.

Die kinetische Gastheorie, deren Grundgedanke 1738 durch Daniel Bernoulli klar ausgesprochen nud verwertet wurde, die dann von Krönig um die Mitte des 19. neu aufgestellt und von Clausius, Maxwell, Boltzmann und vielen anderen ausgebaut wurde, darf als wohl fundiert gelten, weil sie die Grundeigenschaften der Gase und die quantitativen Fundamentalgesetze, die ihr Verhalten regeln, befriedigend zu erklären vermag. Von besonders überzeugender Wirkung aber ist die Tatsache, daß unsere Theorie zu einer paradox erscheinenden Voraussage führte, die dann durch experimentelle Prüfung bestätigt werden konnte. Eine rechnerische Überlegung Maxwells lehrte, daß die innere Reibung in einem Gase, d. h. die Reibung von Gasschichten aneinander (auf die es auch ankommt, wenn eine Bewegung von festen Körpern in Gasen stattfindet) unabhängig ist von der Dichte des Gases, daß sie also z. B. gleich groß ist in komprimierter, gewöhnlicher und verdünnter Luft. Das ist ein zunächst paradox erscheinendes Resultat der kinetischen Gastheorie; man sollte doch meinen, daß in dichterer, komprimierter Luft der Reibungswiderstand größer sein müsse als in verdünnter Luft. Als Maxwell aber dann im Experiment sein theoretisches Ergebnis prüfte, fand er es bestätigt. Das ist ein schönes Beispiel einer „Verifikation" einer Hypothese; wenn wir im Leben eine schwer glaublich erscheinende Konsequenz einer Vermutung derart bestätigt finden, werden wir uns schwerlich einreden lassen, letztere dürfe nur als Fiktion bezeichnet werden.

Übrigens dürfen wir auch den Nachweis der Brownschen Molekularbewegung in Gasen zu den nachträglichen Bestätigungen der kinetischen Gastheorie rechnen.

Molekulare Bewegungen in Flüssigkeiten.

Auch im flüssigen Aggregatzustande sind die Teilchen leicht gegeneinander beweglich, wie wir bereits sahen. Bedenkt man nun ferner, daß unter gewissen Umständen Gase ganz kontinuierlich in den flüssigen Zustand übergehen, so wird man zu der Annahme geführt, daß auch in Flüssigkeiten molekulare Bewegungen stattfinden werden. In der Tat wurde die Brownsche Bewegung kleiner Teilchen zuerst (1827) in Flüssigkeiten entdeckt, und zwar von dem Botaniker, nach dem sie benannt ist. Gouy führte sie (1889) auf die Stöße der unsichtbaren Moleküle zurück; eine andere befriedigende Erklärung hat sich nicht

finden lassen. Die Molekularbewegung in den Flüssigkeiten erklärt auch, warum ganz feine, schwere Partikelchen in ihnen nicht allmählich allesamt zu Boden sinken; die Molekularstöße wirken dem entgegen. Sie treiben sogar unter Umständen feine, auf dem Boden ruhende Partikelchen aufwärts. Nunmehr wird auch folgende, zunächst seltsam erscheinende Tatsache verständlich. Wir wollen einen Salzkristall auf den Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes legen. Die Lösung des Salzes möge schwerer sein als Wasser. Man sollte zunächst meinen, wenn das Wasser ganz ruhig steht, könne sich nur so lange Salz lösen, bis unser Kristall gerade mit gesättigter Salzlösung bedeckt ist; dann werde die Salzlösung wegen ihrer Schwere am Boden lagern, und über ihr werde das salzfreie, leichtere Wasser schweben. In Wirklichkeit aber steigt Salz aus den unteren Lösungsschichten entgegen der Schwere nach oben, ebenso wie Gasteilchen einer unteren, schwereren Gasmasse in eine aufgelagerte leichtere aufsteigen. Wir müssen annehmen, daß auch in der scheinbar ganz ruhenden Flüssigkeit unsichtbare Bewegungen stattfinden; solche Molekularbewegungen sind es, die die Salzmoleküle auch entgegen der Schwerkraft nach oben treiben, wie nach allen anderen Richtungen.

Fragt man nach Molekularbewegungen bei festen Körpern, so werden wir uns erinnern, daß bei ihnen die Moleküle nur wenig ihre Lage ändern können, in der sie durch starke anziehende und abstoßende Kräfte festgehalten werden. In festen Körpern werden also keine derartig weiten Bewegungen und Verlagerungen der Moleküle stattfinden wie in Gasen und Flüssigkeiten. In der Tat zeigen auch bei sehr starker Vergrößerung winzige, in feste Körper eingeschlossene Teilchen keine Brownsche Bewegung. Das läßt natürlich die Möglichkeit bestehen, daß die Moleküle fester Körper doch winzige, schwingende Bewegungen um eine durchschnittliche Lage ausführen. Wir werden vermuten dürfen, daß auch in festen Körpern nicht alles ruhig ist, nachdem wir soviel lebendige Bewegung in Gasen und Flüssigkeiten fanden. In dieser Vermutung werden wir weiter unten bestärkt werden. Eine wohlbegründete Hypothese, die mechanische Wärmetheorie, besagt, daß die Wärme fester, flüssiger und gasförmiger Körper nichts anderes ist als eine Bewegung ihrer unsichtbar kleinen Bausteine.

G r ö ß e n v e r h ä l t n i s s e i n d e r W e l t d e r M o l e k ü l e. Der Vervollkommnung der Beobachtung durch die Messung verdanken die exakten Naturwissenschaften das Beste, was sie an Erkenntnis uns bieten können. Wir werden nunmehr zu fragen haben, zu welchen Ergebnissen die — natürlich indirekte — Messung in der Molekularwelt geführt hat. Da wird sich zeigen, wie gerade die rechnerische Bestimmung von Größen- und Zahlverhältnissen der Molekularhypothese sehr starke Stützen verleiht.

Es gibt sehr zahlreiche Arten von Molekülen.

Bevor wir aber etwa nach der Größe oder Schwere der Moleküle fragen, müssen wir erst eine Vorfrage besprechen. Wir können schwerlich schlechthin von der Größe des Moleküls reden, da es doch wohl verschiedene und auch speziell verschieden große und schwere Moleküle geben wird. Zwar können, wie uns die Betrachtung des Aggregatzustandes lehrte und weitere Darlegungen wiederum

zeigen werden, aus den gleichen Teilchen recht verschieden erscheinende Stoffe, wie z. B. Eis, Wasser und Wasserdampf, gebildet werden. Doch ist der Gedanke abzuweisen, daß alle Substanzen aus gleichen Molekülen beständen, die nur bei jeder Substanz in anderer Weise zusammengefügt wären. Möglich, daß in allerletzter Linie alle Materie aus den gleichen elementarsten Bausteinen besteht; die Baueinheiten, mit denen wir es hier zu tun haben, werden aber bei Substanzen, die so verschieden sind wie z. B. Wasserstoff und Chlor, verschieden sein. Nach der kinetischen Gastheorie sind alle Gase in prinzipiell gleicher Weise aus ihren Molekülen aufgebaut; sie bestehen aus durcheinander fliegenden Molekülen, deren Abstände groß sind im Verhältnis zu den Molekulardurchmessern. Wasserstoff und Chlor können sich also nicht durch ihre Molekularstruktur unterscheiden; auch wenn wir Chlor, das mehr als 35 mal so schwer ist als Wasserstoff, entsprechend verdünnen, bleibt es doch immer Chlor und wird nicht zu Wasserstoff. Und charakteristische chemische Eigenschaften bleiben noch erhalten, wenn das Chlorgas verflüssigt oder gelöst wird. So werden wir stark zu der Auffassung gedrängt, daß nicht die Art des Aufbaues aus den Molekülen, sondern die Beschaffenheit der letzteren selbst es ist, die Chlor zu Chlor macht und von Wasserstoff unterscheidet. Und Ähnliches gilt für Stoffe wie Wasser, Quecksilber, Kochsalz, Eisen usw. Wenn wir Kochsalz in Wasser lösen, so erhalten wir nicht einfach eine größere Wassermenge, wie zu erwarten wäre, wenn Kochsalz aus den gleichen Molekülen aufgebaut wäre wie Wasser. Übrigens bestätigen die Bestimmungen der Molekulargewichte und andere Ergebnisse die Auffassung, daß es vielerlei Moleküle gibt. Insbesondere macht die molekular- (und atom-) theoretische Erklärung der chemischen Vorgänge die Annahme unvermeidlich, daß all den zahlreichen, chemisch einheitlichen Stoffen verschiedene Moleküle entsprechen, daß aber jeder dieser Stoffe aus einer ganz bestimmten Art von Molekülen aufgebaut ist, so z. B. Wasser aus Wassermolekülen, Chlor aus Chlormolekülen usw. (Dissoziationen u. dgl. dürfen außer Betracht bleiben, da sie eigentlich die chemische Einheitlichkeit aufheben).

Chemisch einheitliche Stoffe bestehen aus lauter gleichen Molekülen.

Den letzteren Satz müssen wir zu begründen versuchen, und zu diesem Zwecke müssen wir festlegen, was unter einem chemisch einheitlichen Körper zu verstehen ist. Den chemisch einheitlichen Körpern stehen die Gemische (im weitesten Sinne) gegenüber. Die meisten in der Natur vorgefundenen Körper sind Gemische; so ist die Luft ein Gemisch aus Stickstoff und Sauerstoff usw., das Meerwasser ein Gemisch aus Wasser und Salzen, der Ackerboden ein Gemisch aus anorganischen und organischen Stoffen. Man pflegt zuweilen zu definieren: einheitlich ist eine Masse, die durch kein mechanisches Mittel sich in chemisch verschiedene Bestandteile zerlegen läßt, nicht einheitlich oder gemischt eine solche, bei welcher durch mechanische Mittel eine Zerlegung möglich ist. Diese Definition ist nicht frei von Schwierigkeiten; man gewinnt z. B. Wasser aus einer nicht-einheitlichen Salzlösung durch Verdampfen; ist Verdampfen nun ein ,,mechanisches" Mittel? Wie dem aber auch sein mag, der Unterschied zwischen Gemisch und einheitlichem Körper ist offenbar vorhanden. Wenn wir Kohlestäubchen und Eisenpulver mischen, so können wir mit dem

Magneten die Eisenteilchen herausholen und so wieder zwei recht verschiedene Stoffe aus dem Gemisch erhalten. Auch ein Gemisch von Wasserstoff- und Chlorgas können wir in die beiden Substanzen zerlegen, indem wir etwa das Chlor durch Wasser absorbieren lassen. In anderen Fällen gelingt die Trennung durch Diffusion (Dialyse), Filtration (durch die man jetzt sehr feine Teilchen abfangen kann — Ultrafiltration), Destillation (eventuell fraktionierte), Kondensation, Kristallisation, Zentrifugieren usw.; bei groben Mischungen kann man oft die verschiedenen Partikelchen direkt auseinandernehmen.

Bei manchen Stoffen sind nun alle derartigen Bemühungen erfolglos. Diese mögen also als einheitliche Substanzen gelten. Übrigens hat die Chemie noch andere, hier nicht zu besprechende Mittel, um zwischen Gemischen und einheitlichen Stoffen (insbesondere Verbindungen) zu unterscheiden.

Wenn wir die Verschiedenheit einheitlicher Stoffe, wie Eisen, Kupfer, Kochsalz usw., auf die Verschiedenheit ihrer Moleküle zurückführen, so werden wir zu der Annahme neigen, daß die Einheitlichkeit eines Stoffes darauf beruht, daß er aus lauter gleichen Molekülen besteht. Wären die Moleküle des Wassers nicht alle untereinander gleich, so müßten wir, die Verschiedenheit ihrer Eigenschaften geschickt benutzend, doch schließlich die verschiedenen, im Wasser enthaltenen Molekülsorten voneinander trennen und so durch Entmischung aus Wasser verschiedene Stoffe gewinnen können. Wenn man Wasser und Alkohol mischt, so erhält man eine zunächst auch ganz einheitlich erscheinende Flüssigkeit. Doch kann man durch geeignete Destillationsverfahren diese Mischung wieder entmischen, Wasser- und Alkoholmoleküle wieder trennen. Reines Wasser aber kann ich allen möglichen Destillationen usw. unterwerfen, ich bekomme immer wieder Wasser, nie aber zwei oder mehr verschiedene Substanzen. So werde ich vermuten, daß reines Wasser und ebenso alle chemisch einheitlichen Körper nur eine Sorte von Molekülen enthalten.

Kristallisation und Gleichheit der Moleküle.

Wenngleich erst die chemische Molekular- (und Atom-)Lehre die wichtigsten Gründe für diese Auffassung beibringt, kann doch auch hier schon ein bedeutsames Argument Erwähnung finden, das zugleich eine neue Stütze der Molekulartheorie überhaupt abgibt. Chemisch einheitliche Körper pflegen Kristalle zu bilden, wenn sie aus dem flüssigen Aggregatzustand in den festen übergehen. Die Formen der Kristalle zeigen eine große Mannigfaltigkeit. Doch kann man sie allesamt in 32 Klassen (Symmetrieklassen) einordnen oder auch in sechs sog. Kristallsysteme. Gewisse Symmetrieverhältnisse kommen bei vielen Kristallen vor, während andere, die man zunächst gerade so gut erwarten könnte, nie gefunden werden. Dieser merkwürdige Sachverhalt wird verständlich, wenn man annimmt, daß die Kristalle, die chemisch einheitliche Körper darstellen, aus lauter gleichen Bausteinen aufgebaut sind, die, nach gleichen Gesetzen aufeinander wirkend, sich zu festen Gebilden zusammenschließen; die genauere Überlegung zeigt nämlich, daß dann alle die Symmetrieverhältnisse (Symmetrieklassen) sich ergeben können, die man bei Kristallen tatsächlich findet.

Dies spricht ebenso für die Molekulartheorie überhaupt wie für die Annahme, daß chemisch einheitliche Körper aus lauter gleichen Molekülen auf-

gebaut sind. Allerdings ist in letzterer Hinsicht das Argument doch einer Einschränkung ausgesetzt. Chemisch analoge Stoffe, also Substanzen, deren Moleküle einander gleichen werden, können gleiche Kristallformen aufweisen und in sog. Mischkristallen gleichzeitig vorkommen. Da haben wir also verschiedene, aber immerhin ähnliche Moleküle in demselben Kristall.

Das Vorkommen von ähnlichen, jedoch immerhin verschiedenen Molekülen in demselben Kristall kann uns davor warnen, die Behauptung der Gleichheit der Moleküle einheitlicher Körper zu überspannen. Wir haben gar keinen Anlaß, anzunehmen, daß es sich um absolute Gleichheit handle. Aus dem weiter unten Darzulegenden ergibt sich von selbst, daß die inneren Bewegungszustände in den „gleichen" Molekülen in einem bestimmten Augenblicke jedenfalls verschieden sein werden. Die Moleküle eines chemisch einheitlichen Körpers sind Moleküle einer bestimmten Art; sie sind untereinander wesentlich gleich; mehr dürfen wir nicht behaupten. Wie ein Blinder gelbe Sandkörner nicht von weißen unterscheidet, so mögen uns gewisse Unterschiede der „gleichen" Moleküle entgehen.

Es gibt viele Methoden zur Feststellung der Zahl der Moleküle in einem bestimmten Volum oder Gewicht. Übereinstimmung der Ergebnisse.

Die Fragen nach der Größe der Moleküle, nach ihren Abständen, nach ihrer Zahl in einem bestimmten Volum oder Gewicht usw. können sich nun auf jeden chemisch einheitlichen Körper beziehen. Die Beobachtungen und Überlegungen, welche allgemein für die Molekulartheorie sprechen, geben auch zumeist einen gewissen Aufschluß über die Dimensionen der Molekularwelt. Die Erfahrungen an feinen Metallschichten und Flüssigkeitshäutchen werden uns zu der Annahme führen, daß wir in das Gebiet der molekularen Dimensionen hineinkommen (die „Größenordnung" der Moleküle erreichen) mit einer Hautdicke von etwa 1 $\mu\mu$. Auch die oben erwähnte Beeinflussung der Röntgenstrahlen durch Kristalle gibt Aufschluß über molekulare Größenverhältnisse, ebenso die genauere, messende Beobachtung der Brownschen Molekularbewegungen und der Himmelsbläue. Wenn wir alle die Methoden angeben wollten, die einigen und z. T. genauen Aufschluß geben können über die Zahl der Moleküle in einem bestimmten Volum oder Gewicht, so müßten wir ihrer zwanzig bis dreißig nennen. Manche dieser Methoden sind einander verwandt; zu einem erheblichen Teil aber sind sie ganz unabhängig voneinander; sie sind den verschiedensten Gebieten der Physik entnommen. Um so überzeugender wirken die Ergebnisse. In bezug auf die Größenordnung herrscht gute Übereinstimmung. Aber auch die genaueren Zahlen, zu denen manche der Methoden führen, stimmen befriedigend überein. Daß eine absolute Übereinstimmung nicht herrschen kann, ist bei der Schwierigkeit der in Frage kommenden Beobachtungen und zuweilen auch aus anderen Gründen leicht zu verstehen. Man pflegt meist die Loschmidtsche Zahl anzugeben, d. h. die Zahl der Moleküle in einem Kubikzentimeter eines Gases von 0° bei 760 mm Druck; wie bereits erwähnt wurde, ist diese, von Loschmidt zuerst bestimmte Zahl für alle Gase dieselbe, was die große Übereinstimmung im physikalischen Verhalten der Gase erklärt. Die Werte der Loschmidtschen Zahl, die von mehr als einem halben Dutzend verschiedener Methoden geliefert werden, schwanken etwa zwischen 20 und 32 Trillionen; die

Grenzen sind aber sicher erheblich enger zu ziehen, und eine Reihe von z. T. ganz voneinander unabhängigen Methoden und Berechnungen führt zu einem Wert von 27 bis 28 Trillionen. Diese Angabe dürfte Vertrauen verdienen. Die noch bestehenden Abweichungen sind, wie gesagt, erklärlich; wenn man aber bedenkt, daß eine Anzahl unabhängiger Methoden und Bestimmungen im großen und ganzen zu einem einheitlichen Ergebnis geführt hat, wird man der hypothetischen Grundlage der Berechnungen, der Molekulartheorie, doch eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit zusprechen müssen. Ist die ganze Molekularlehre falsch, ist sie eine bloße Fiktion, warum kommt man dann, diese Lehre voraussetzend, bei dem Versuch, die Zahl der Moleküle zu bestimmen, immer wieder zu ähnlichen Werten, obgleich man von ganz verschiedenen Erscheinungen ausgeht, von der Diffusion, Reibung und Wärmeleitung der Gase oder vom blauen Himmelslicht, von der Brownschen Molekularbewegung oder der Wärmestrahlung, von der α-Strahlung radioaktiver Stoffe oder von der Bewegung elektrisch geladener Nebeltröpfchen usw.? Wir haben nur eine Erklärung dafür, daß die so verschiedenartigen Bestimmungen der Loschmidtschen Zahl ziemlich übereinstimmende Resultate ergeben, nur die Erklärung nämlich, daß die hypothetischen Grundlagen jener Bestimmungen der Wirklichkeit entsprechen.

Die erste Berechnung der nach ihm benannten Zahl wurde 1865 von Loschmidt auf Grund der kinetischen Gastheorie durchgeführt. Wir können diese Berechnung hier nicht darlegen und müssen ebenso auf die Erläuterung jüngerer Bestimmungsmethoden verzichten. Ein ganz neues Verfahren aber kann hier besprochen werden, weil es, obgleich in der praktischen Durchführung sehr schwierig, im Prinzip ganz einfach ist. Es wurde bereits erwähnt, daß radioaktive Substanzen molekülweise (oder atomweise, was in diesem besonderen Falle dasselbe bedeutet) Helium ausschleudern; die einzelnen Heliummoleküle oder α-Teilchen sind zwar nicht sichtbar, aber man kann sie zählen, weil jedes derselben beim Auftreffen auf Zinksulfid oder Diamant einen Lichtblitz verursacht. Indem man so die Zahl der Heliummoleküle feststellt und dann das Volum des Heliumgases mißt, welches durch die Aussendung der α-Teilchen aus der radioaktiven Substanz hervorgegangen ist, ergibt sich unmittelbar die Zahl der Moleküle für dies Volum und mithin auch für 1 ccm. — Bei der praktischen Durchführung ergeben sich Schwierigkeiten, weil man nur ganz geringe Mengen der radioaktiven Stoffe zur Verfügung hat, und weil dementsprechend nur äußerst kleine Heliummengen produziert werden. Die Schwierigkeiten sind in sehr sorgfältigen Experimenten von Boltwood und Rutherford überwunden worden. $27^1/_2$ Trillionen α-Teilchen oder Heliummoleküle würden 1 ccm Heliumgas von 0^0 bei Atmosphärendruck bilden.

Bestimmung der Loschmidtschen Zahl aus der Messung der Heliumproduktion des Radiums und der Zählung der α-Teilchen.

Übrigens kann die Zählung der α-Teilchen noch in anderer Weise zur Bestimmung der Loschmidtschen Zahl dienen. Rutherford und Geiger sowie Regener erhielten dabei fast dieselben Werte (27,8 bzw. 27 Trillionen).

Die Loschmidtsche Zahl ($27{,}8 . 10^{18}$) ist unvorstellbar groß, und es ist schwer, sie mittelbar der Anschauung näher zu bringen. Eine Trillion schreiben wir, indem wir 18 Nullen hinter eine Eins stellen. Selbst das kleinste Luftbläschen,

das wir im Mikroskop erblicken können, enthält mindestens noch Hunderttausende von Molekülen. Wenn wir mit den vollkommensten Luftpumpen ein Gefäß von Fingerhutgröße so weit entleeren, als eben möglich ist, so enthält dieses „luftleere" Gefäß immer noch Hunderte von Millionen Molekülen. — Wir haben bereits erwähnt, daß in Flüssigkeiten und festen Körpern die Moleküle viel näher beieinander sind als in Gasen. In jenen kommen also noch viel mehr Moleküle auf einen Kubikzentimeter. Da wir wissen, wie viele Kubikzentimeter Wasserdampf aus einem Kubikzentimeter Wasser entstehen, und da uns die Loschmidtsche Zahl angibt, wie viele Moleküle ein Kubikzentimeter Wasserdampf enthält, so können wir ausrechnen, wie viele Moleküle auf ein Kubikzentimeter Wasser kommen. Die Rechnung ergibt ungefähr 35 000 Trillionen Moleküle.

Durchmesser der Moleküle.

Wenn wir wissen, wie viele Moleküle auf einen Kubikzentimeter kommen, können wir natürlich leicht berechnen, auf welchen Raumteil ein einzelnes Molekül kommt. Bei den Gasen ist diese Raumgröße stark variabel, weil sich das Volum einer Gasmasse stark mit Druck und Temperatur ändert. Bei Flüssigkeiten und festen Körpern dagegen ist das Volum, welches von einem einzelnen Molekül beansprucht wird, viel weniger von den äußeren Umständen abhängig. Da auf 1 ccm Wasser 35 000 Trillionen Moleküle kommen, gehört zu jedem Molekül ein Raum, wie ihn ein Würfel von $^1/_3$—$^1/_4$ $\mu\mu$ Kantenlänge einschließt. Wir wollen uns nun ferner daran erinnern, daß das Volum einer Wassermenge nur sehr wenig durch Druck verkleinert werden kann. Es liegt also nahe, anzunehmen, daß im Wasser die Moleküle schon recht nahe beieinander liegen. Der Durchmesser eines Wassermoleküles würde also wohl nicht viel kleiner sein als $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ $\mu\mu$.

Es wurde schon erwähnt, daß bei Dicken von der Größenordnung von 1 $\mu\mu$ Metallschichten und Flüssigkeitshäutchen ihren kontinuierlichen Zusammenhang verlieren; auch dies führt zu der Annahme, daß Molekulardurchmesser wohl unter 1 $\mu\mu$, aber andererseits nicht allzuweit unter dieser Größe liegen werden.

Es gibt noch andere Wege zur Bestimmung des Molekulardurchmessers. Einer derselben soll wenigstens noch Erwähnung finden. Es gibt eine wertvolle Formel, die die Beziehungen zwischen Volum, Druck und Temperatur bei Gasen beherrscht und überdies dem Physiker noch weitere Dienste leistet (bezüglich der Kondensation, des kritischen Punktes); man nennt sie die Zustandsgleichung von van der Waals[1]. In dieser Formel kommt der von den Molekülen selbst eingenommene Raum zur Geltung, der einen kleinen Teil des ganzen Gasvolums bildet, da die Moleküle ja in Gasen relativ beträchtliche Abstände voneinander aufweisen. Dieser Umstand gibt im Verein mit der Loschmidtschen Zahl ein Mittel an die Hand, aus der Beobachtung des Verhaltens von Gasen die Molekulargröße derselben zu berechnen. Bei der Kohlensäure, bei welcher das Ver-

[1] Vgl. K. d. G. III, III, 1, Physik, hrsg. v. Warburg, F. Henning, Die Entwicklung der Thermodynamik, S. 120, L. Holborn, Umwandlungspunkte, Erscheinungen bei koexistierenden Phasen, S. 164f. (Im Erscheinen.)

fahren recht genau durchgeführt wurde, ergab sich ein Molekulardurchmesser von 0,33 $\mu\mu$, also etwa derselbe Wert, den wir auch für das Wassermolekül fanden.

Wenn wir vom Molekulardurchmesser sprechen, so könnte das zu der (in der Tat bei molekulartheoretischen Betrachtungen zum Zwecke der Vereinfachung zuweilen zugrunde gelegten) Auffassung verleiten, die Moleküle seien einfache Kugeln. Wir werden alsbald sehen, daß die Verhältnisse nicht so einfach liegen. Die Moleküle sind Gebilde von verschieden kompliziertem Bau, nicht strukturlose Kugeln. Auch gibt es Moleküle von sehr verschiedener Größe; Wasser- und Kohlensäuremoleküle sind verhältnismäßig sehr einfach gebaut und klein.

Die Zahl 0,33 $\mu\mu$ hat also nur eine gewisse typische Bedeutung. Um eine mittelbare Vorstellung von der Größe einer Kugel von 0,33 $\mu\mu$ Durchmesser zu geben, können wir folgenden Vergleich heranziehen. Eine solche Kugel verhält sich zu einem mittelgroßen Apfel oder Kinderspielball wie letztere zu unserer Erde.

Gewicht der Moleküle.

Wenn wir die Zahl der Moleküle in einem Volum kennen, ist es natürlich leicht, das Gewicht des einzelnen Moleküls zu bestimmen. Wir brauchen nur das Gewicht jenes Volums festzustellen und durch die Zahl der Moleküle zu dividieren. Das Gewicht eines Kohlensäuremoleküles erhalten wir in Grammen ausgedrückt, wenn wir 66 durch eine Zahl dividieren, die hinter der 1 nicht weniger als 24 Nullen aufweist; das Kohlensäuremolekül wiegt 66 quadrillionstel Gramm. Das leichteste Molekül, dasjenige des Wasserstoffes, hat ein 22 mal kleineres Gewicht, wiegt also 3 quadrillionstel Gramm. Das Wassermolekül wiegt 27 quadrillionstel Gramm. Man pflegt die Molekulargewichte zumeist nicht in Grammen anzugeben, sondern auf eine viel kleinere Gewichtseinheit zu beziehen, nämlich auf die Hälfte des Gewichtes eines Wasserstoffmoleküles; häufig bezieht man die Molekulargewichte auch auf dasjenige des Sauerstoffes, das dann gleich 32 gesetzt wird — die so auf Sauerstoff bezogenen Werte stehen den auf das halbe Wasserstoffmolekül bezogenen ganz nahe. (Die Zweckmäßigkeitsgründe für dieses Verfahren ergeben sich aus der chemischen Molekular- und Atomtheorie. Nach derselben besteht das Wasserstoffmolekül aus zwei Teileinheiten oder Atomen; das Wasserstoffatom als das leichteste aller Atome dient als Einheit, auf welche die Gewichte der übrigen Atome und Moleküle bezogen werden. Das Sauerstoffmolekül ist etwa 32 mal so schwer wie das Wasserstoffatom. Darum erhält man fast dieselben relativen Molekulargewichte, wenn man sie aufs Sauerstoffmolekül bezieht und dessen Gewicht gleich 32 setzt. Dies Beziehen der Molekular- (und Atom-)gewichte aufs Sauerstoffmolekül (bzw. -atom) ist zweckmäßig, weil die so sich ergebenden Zahlen genauer festgelegt werden können als die auf Wasserstoff bezogenen Werte.)

Mittlere Geschwindigkeit der Moleküle.

Die kinetische Gastheorie erlaubt die Bestimmung der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Gasmoleküle. Jedes Gas übt auf die Wände des einschließenden Gefäßes einen Druck aus; das tritt besonders deutlich bei stark zusammengepreßten Gasen in Erscheinung, die diese Wände zum Platzen bringen können. Nach der kinetischen Gastheorie wird jener Druck dadurch hervor-

gerufen, daß die in allen Richtungen durcheinanderfliegenden Moleküle gegen die Gefäßwände anprallen. Wegen der enormen Zahl der Moleküle und wegen ihrer großen Geschwindigkeit sind die Stöße auf jedem kleinen Flächenteil der Wand so häufig, daß ein kontinuierlicher Druck vorgetäuscht wird. Der durch den Stoß der Moleküle entstehende Druck wird außer von der Masse der Moleküle von ihrer Geschwindigkeit abhängen. Umgekehrt ist die Geschwindigkeit aus dem Druck bestimmbar. Sie ist am größten beim leichtesten der Moleküle, bei dem des Wasserstoffes, wo sie 1844 m in der Sekunde beträgt bei der Temperatur 0^0 (sie wächst nämlich mit der Temperatur). Bei den Gasen, die unsere Luft zusammensetzen, bei Stickstoff und Sauerstoff, ist sie erheblich geringer (492 bzw. 461 m in der Sekunde, bei Kohlensäure 392 m, immer bei 0^0). Es handelt sich um Geschwindigkeiten, die etwa denjenigen moderner Geschosse entsprechen; das winzige Gewicht der Moleküle verhindert, daß ihr Bombardement uns vernichtet. Übrigens sind die angegebenen Geschwindigkeiten mittlere Werte; in jedem Gase eilen die Moleküle mit allen möglichen verschiedenen Geschwindigkeiten durcheinander.

Die chemische Molekular- und Atomtheorie. Der Ausbau der Mikrostrukturlehre zur modernen Atomtheorie muß sich vor allen Dingen auf chemische Gesetze stützen; natürlich kommen dabei auch physikalische Tatsachen in Betracht, insbesondere aber Ergebnisse aus der Grenz- oder Zwischendisziplin der physikalischen Chemie.

Zur Vermeidung von Mißverständnissen mag erwähnt werden, daß die Bezeichnungen Atomlehre, Atomtheorie, Atomhypothese oder Atomistik zuweilen in einem umfassenderen Sinne gebraucht werden, als es hier geschehen soll; man versteht unter Atomistik häufig die ganze Mikrostrukturlehre, welche die Molekular-, Atom-, und Elektronentheorie umfaßt. Dieser Sprachgebrauch ist historisch verständlich; denn der ganze Hypothesenkomplex hängt schließlich geschichtlich mit der philosophischen Atomlehre Leukipps und Demokrits zusammen, so sehr er sich auch von dieser unterscheidet. Hier wird es jedoch zweckmäßig sein, die Bezeichnung Atomtheorie oder -hypothese in einem engeren Sinne zu verwenden; wir brauchen eine solche Bezeichnung für den besonderen Teil des ganzen Mikrostrukturlehrenkomplexes, der zwischen der physikalischen Molekulartheorie und der Elektronentheorie steht.

Zu Anfang des vorigen Jahrhunderts wurde die chemische Atomistik durch Dalton aufgestellt. Sie gewann in der Chemie schnell eine sehr große Bedeutung und hohes Ansehen. Erst ungefähr ein halbes Jahrhundert später begann die erfolgreiche Begründung und Ausgestaltung der kinetischen Gastheorie, des zweiten Grundpfeilers der ganzen Mikrostrukturlehre. Es gibt freilich noch andere, ältere Argumente für die Grundanschauung derselben. Die jüngste Zeit hat neue starke Stützen für den ganzen Hypothesenbau beigebracht und ihn weiter ausgestaltet.

Wir lassen im folgenden den historischen Gesichtspunkt wieder ganz hinter den sachlichen zurücktreten. Wir haben auszugehen von einigen Grundtatsachen und -gesetzen der Chemie. Es wurde bereits der Unterschied zwischen

Chemische Verbindungs- und Zerlegungsvorgänge.

Mischungen und chemisch einheitlichen Stoffen dargelegt. Jetzt ist hinzuzufügen, daß unter Umständen Mischungen in chemisch einheitliche Stoffe übergehen und aus chemisch einheitlichen Stoffen Mischungen entstehen können; den ersteren Übergang nennen wir einen Verbindungsvorgang oder eine Synthese, den letzteren eine Zersetzung oder Zerlegung.

Wir müssen diese Begriffe an einem Beispiele verdeutlichen. Wenn wir ein Liter farbloses Wasserstoffgas mit einem Liter des grünen Chlorgases zusammenbringen, so erhalten wir zunächst eine Mischung, die wegen des Chlorgehaltes grünlich aussieht. Wir können die Bestandteile ziemlich leicht wieder trennen, indem wir etwa von der Erfahrung Gebrauch machen, daß Chlor sich in Wasser besser löst als Wasserstoff, oder von der anderen, daß Chlor sich bei einer Temperaturerniedrigung, bei der Wasserstoff noch gasförmig bleibt, zu einer Flüssigkeit verdichtet. Wir nehmen also an, daß in unserem Wasserstoff-Chlorgemisch Wasserstoff- und Chlormoleküle durcheinanderfliegen. Wird unser Gemisch dem Licht ausgesetzt, so geht eine merkwürdige Veränderung vor. Die grünliche Farbe des Chlors verschwindet; aber auch die Eigenschaften des Wasserstoffes, seine Brennbarkeit z. B., gehen verloren. Wir erhalten ein neues Gas mit charakteristischen, von denen des Wasserstoffes und des Chlors verschiedenen Eigenschaften; dasselbe raucht z. B. an der Luft. Man bezeichnet dies neue Gas als Salzsäuregas. In Wasser gelöst, bildet es die gewöhnliche Salzsäure des Handels. Durch die Prozesse, welche zur Entmischung von Gasgemischen dienen können, sind aus dem Salzsäuregas weder Wasserstoff noch Chlor noch irgendwelche anderen Stoffe abzusondern; wir werden also annehmen, daß Salzsäuregas einen chemisch einheitlichen Körper darstellt, einen Stoff, in dem es nur eine Sorte von Molekülen gibt. Statt der verschwundenen Chlormoleküle und Wasserstoffmoleküle haben wir jetzt ausschließlich Salzsäuremoleküle.

Das wäre ein chemischer Verbindungsvorgang. Wir wollen gleich noch bemerken, daß das Gewicht und die Trägheit des neu entstandenen Salzsäuregases dieselben sind wie die der Mischung von Chlor und Wasserstoff. Chemische Verbindungsvorgänge sind ebensowenig mit Gewichtsänderung verbunden wie Umwandlungen des Aggregatzustandes.

Wie letztere rückgängig gemacht werden können, so auch die chemischen Verbindungsvorgänge. Wir können z. B. aus dem Salzsäuregas wieder Wasserstoff und Chlor zurückerhalten, und zwar in den ursprünglichen Mengen. Diese chemische Zersetzung können wir erzielen, indem wir das Salzsäuregas in Wasser lösen und durch die Lösung dann einen elektrischen Strom hindurchsenden. An der Eintrittsstelle des positiven Stromes in die Salzsäurelösung (an der „Anode") erscheint das Chlor wieder, an der Austrittsstelle, dem negativen Pol (oder der „Kathode"), der Wasserstoff. Das Gewicht (und die Trägheit) des neuentstehenden Wasserstoffes und Chlors ist gleich dem Gewicht der bei der Zersetzung verzehrten Salzsäure.

Bei dieser Zersetzung entstehen also aus einem einheitlichen Stoffe, dem Salzsäuregas (von dem Wasser als Lösungsmittel dürfen wir hier absehen),

zwei neue einheitliche Körper, nämlich Wasserstoff und Chlor. Aus den Salzsäuremolekülen bilden sich Chlormoleküle und Wasserstoffmoleküle.

Aus geeigneten Gemischen entstehen durch Verbindungsvorgänge einheitliche Körper, und diese können auf einfacheren oder komplizierteren Wegen in die Gemische zurückverwandelt werden. Bei allen solchen chemischen Umwandlungen bleibt das Gewicht (sowie die Trägheit) des Ganzen unverändert, während im übrigen die Eigenschaften sich stark ändern; z. B. verbinden sich Wasserstoff- und Sauerstoffgas zu flüssigem Wasser.

Hypothetische Deutung der Verbindungs- und Zerlegungsvorgänge.

Der ganze Sachverhalt kann uns an die Umwandlungen der Aggregatzustände erinnern. Auch dabei verändern sich manche Eigenschaften wesentlich, während das Gewicht (sowie die Trägheit) unverändert bleibt; und wir können die Änderungen der Aggregatzustände rückgängig machen wie die chemischen Umwandlungen. Nun wurden wir zu der Annahme gedrängt, daß die Änderungen der Aggregatzustände darauf beruhen, daß die Art der Zusammenfügung der kleinen Bausteine der Stoffe eine andere wird. Wir werden darum vermuten dürfen, daß auch die chemischen Umwandlungen als Änderungen in der Zusammenfügung kleiner Baueinheiten, als Umordnungen der letzteren zu deuten sind.

In der Tat hat dieser Gedanke von vornherein manches für sich. Die Molekulartheorie der Aggregatzustände zeigt, wie sehr Veränderung der Zusammenfügungsweise der Baueinheiten das Verhalten der Stoffe ändert. Wenn nun aus dem Gemisch von Chlor und Sauerstoff das Salzsäuregas mit seinem abweichenden Verhalten entsteht, so darf man vermuten, daß bei dieser Umwandlung die Chlorteilchen und die Wasserstoffteilchen eine neue Art der Zusammenfügung erhalten. Da die Chlormoleküle und die Wasserstoffmoleküle verschwinden, während Salzsäuremoleküle sich bilden, liegt die Annahme ganz nahe, daß Chlorteilchen und Wasserstoffteilchen sich zu neuen Einheiten, den Salzsäuremolekülen, vereinigen, die dann die Bausteine des neuen Gases ausmachen. Bei der Zersetzung der Salzsäure treten die Chlorteilchen und die Wasserstoffteilchen wieder auseinander. Daß sie in unverminderter Gesamtmenge wieder zum Vorschein kommen, entspricht ganz der Auffassung, daß auch in den Salzsäuremolekülen die Chlor- und die Wasserstoffteilchen steckten. Die Erhaltung des Gesamtgewichtes (sowie der Gesamtträgheit) ist wohl verständlich, wenn die chemische Umwandlung auf einer Anordnungsänderung, einem Zusammen- und Auseinandertreten kleiner Baueinheiten beruht.

Wir brauchen natürlich nicht so weit zu gehen, zu behaupten, daß die Chlorteilchen und die Wasserstoffteilchen ganz unverändert bleiben, wenn sie sich zu Salzsäuremolekülen vereinigen; doch gibt es gewichtige Gründe für die Annahme, daß sie im wesentlichen unverändert fortbestehen. Wir werden dies weiter unten darlegen.

Unsere nächste Aufgabe wird es sein, die Anschauung weiter zu entwickeln, daß der chemische Verbindungsvorgang eine Vereinigung kleiner Bausteine zu Molekülen darstellt, und daß solche Bausteine bei Zersetzungsvorgängen wieder abgesondert werden können. Bei dieser Durcharbeitung unserer Vermutung

muß sich zeigen, ob sie sich bewährt und somit als wohlberechtigte Hypothese oder Theorie betrachtet werden darf.

Verbindungen und Elemente.

Die chemisch einheitlichen Körper sind in zwei Gruppen zu sondern. Die Stoffe der einen Gruppe — sie sind in ungemein großer Zahl bekannt — sind dadurch charakterisiert, daß sie sich in mehrere andere Stoffe zerlegen lassen bzw. auch umgekehrt durch chemische Vereinigung aus mehreren anderen Stoffen gebildet werden können. Sie heißen chemische Verbindungen; ein Beispiel einer ganz einfachen chemischen Verbindung bildet das Salzsäuregas, das in Chlor und Wasserstoff zerlegt werden kann. In der zweiten Gruppe vereinigt man diejenigen Stoffe, die nicht mehr in mehrere andere zerlegt werden können, auch nicht umgekehrt aus mehreren anderen aufgebaut werden können; sie heißen chemische Elemente. Ihre Anzahl ist viel kleiner als die der Verbindungen; vor nicht allzulanger Zeit waren ihrer etwa 70 bekannt, aber fast 50 sind hinzugekommen, und weitere werden wohl noch entdeckt werden. Zu den Elementen gehören Wasserstoff und Chlor, auch Sauerstoff und Stickstoff, sowie die Metalle.

In den Molekülen der chemischen Verbindungen sind also nach unserer Vermutung die Teileinheiten von Elementen vereinigt; so vereinigen sich Chlorteilchen und Wasserstoffteilchen zu Salzsäuremolekülen. Die Moleküle der Verbindungen sind wiederum in die elementaren Teileinheiten zerlegbar, aus deren Vereinigung sie hervorgehen. Da nun die Elemente nicht mehr in mehrere andere Stoffe zerlegbar sind, werden wir vermuten, daß ihre Baueinheiten nicht mehr zerlegt werden können. Diese vermuteten unzerlegbaren Baueinheiten der chemischen Elemente nennen wir im Anschluß an Dalton und schließlich an (Leukipp und) Demokrit Atome. Wir werden uns aber hüten, zu behaupten, daß diese Atome überhaupt für keine Macht der Welt teilbar seien. Sie können nicht durch jene Mittel geteilt werden, welche die Moleküle der Verbindungen zu zerlegen vermögen; das ist alles, was wir anzunehmen haben.

Die Moleküle chemisch einheitlicher Körper haben wir nach unseren früheren Überlegungen als untereinander (wesentlich) gleich anzusehen; dadurch unterscheiden sich eben die einheitlichen Körper, also auch die chemischen Verbindungen, von den Gemischen. Wenn nun alle Moleküle einer Verbindung gleich sind, so müssen sie alle in gleicher Weise aus Atomen aufgebaut sein, und die gleichen Elementen entsprechenden Atome werden mithin auch als untereinander gleich anzusehen sein. Gäbe es größere und kleinere Chlor- und Wasserstoffatome, so würden doch auch wohl die Salzsäuremoleküle, die aus der Vereinigung jener Atome entstehen, untereinander verschieden sein.

So kommen wir zu der Vermutung, daß die Atome eines chemischen Elementes ebenso untereinander (wesentlich) gleich sein werden, wie die Moleküle eines beliebigen einheitlichen Stoffes als (wesentlich) gleich anzusehen sind.

Unsere Auffassung ist nunmehr die folgende: Ein Element ist aus lauter gleichen (in relativem Sinne) nicht-teilbaren Bausteinen, den Atomen, aufgebaut. Eine Verbindung ist ebenfalls aus lauter gleichen Bausteinen aufgebaut, nämlich aus ihren Molekülen; die Moleküle sind in Atome zerlegbar. Wir haben aber früher bei allen Stoffen, auch bei den Elementen (z. B. bei Metallen), von Mole-

Atom und Molekül bei Elementen.

külen gesprochen. So drängt sich die Frage auf, ob bei den Elementen Molekül und Atom identisch sind.

Dies ist die am nächsten liegende Vermutung. Sie bewährt sich in der Tat bei manchen Elementen, bei den Gasen Helium und Argon und bei Metalldämpfen, wie bei Zink-, Cadmium- und Quecksilberdampf; nach Untersuchungen von Nernst und seinen Mitarbeitern verdampfen alle Metalle in der Weise, daß die Dampfmoleküle mit den Metallatomen identisch sind. In anderen Fällen aber haben wir auch bei den Elementen zwischen Molekül und Atom zu unterscheiden. Bei einer chemischen Verbindung vereinigen sich *verschiedene* Atome zu einem Molekül, bei vielen chemischen Elementen treten *gleiche* Atome (und zwar zwei oder mehr) zu einem Molekül zusammen.

Da die Sache hier nicht allzu wichtig ist, sei von den Gründen für eine solche Auffassung nur einiges erwähnt. Wir sagten schon, daß die Übereinstimmung im Verhalten der Gase zu der Auffassung leitet, daß die Loschmidtsche Zahl bei ihnen allen dieselbe ist, daß bei allen Gasen auf 1 ccm bei gleicher Temperatur und gleichem Druck gleich viele Moleküle kommen. Wir wollen nun 1 ccm Wasserstoff und 1 ccm Chlor zur chemischen Vereinigung bringen; wir erhalten 2 ccm Salzsäuregas. Nehmen wir an, das Wasserstoffmolekül bestehe aus *einem* Wasserstoffatom und ebenso das Chlormolekül aus *einem* Chloratom, und je ein Chloratom und ein Wasserstoffatom vereinigen sich zu einem Salzsäuremolekül, so erhalten wir so viele Salzsäuremoleküle, wie Wasserstoffatome da waren, oder auch wie Chloratome da waren; also gerade so viel Salzsäuremoleküle, wie Wasserstoffmoleküle oder auch wie Chlormoleküle da waren. Da die Wasserstoffmoleküle und die Chlormoleküle je 1 ccm Gas bildeten, müßten auch die Salzsäuremoleküle 1 ccm Gas bilden; es wäre eben bei der chemischen Vereinigung aus zwei Molekülen (einem Wasserstoff- und einem Chlormolekül) eines geworden. In Wirklichkeit liefern aber, wie gesagt, 1 ccm Wasserstoff und 1 ccm Chlor nicht 1, sondern 2 ccm Salzsäuregas; d. h. nach der chemischen Vereinigung sind so viele Salzsäuremoleküle da, wie Chlormoleküle und Wasserstoffmoleküle zusammengenommen da waren. Daraus ergibt sich aber, daß ein Wasserstoffmolekül und ein Chlormolekül zusammen nicht bloß ein, sondern zwei Salzsäuremoleküle bilden. Dies wird verständlich, wenn jedes Wasserstoffmolekül aus zwei Wasserstoffatomen, jedes Chlormolekül aus zwei Chloratomen besteht. Treten nun je ein Wasserstoff- und ein Chloratom zu einem Salzsäuremolekül zusammen, so bilden offenbar ein Wasserstoffmolekül und ein Chlormolekül bei der chemischen Vereinigung zwei Salzsäuremoleküle; d. h. nach der chemischen Vereinigung erhalten wir so viele Salzsäuremoleküle, wie Chlormoleküle und Wasserstoffmoleküle zusammengezählt da waren. So erklärt es sich, daß 1 ccm Wasserstoff und 1 ccm Chlor 2 ccm Salzsäuregas liefern.

Auf diese Weise kann man zu der Auffassung kommen, daß vielfach im Molekül der Elemente mehrere gleiche Atome vereinigt sind. Man besitzt weitere Gründe für diese Auffassung; einer derselben mag noch kurze Erwähnung

Allotropie

finden. Es gibt manche Elemente, die unter gewissen Verhältnissen ihre Eigenschaften nicht unerheblich ändern, ohne dabei in einen anderen Aggregatzustand

überzugehen. Ein Beispiel bietet der Sauerstoff. Unter gewissen Umständen, z. B. unter dem Einfluß elektrischer Entladungen, verwandelt sich der geruchlose Sauerstoff in ein Gas von charakteristischem Geruch, in Ozon. Wir werden annehmen, daß Ozon aus denselben Atomen besteht wie Sauerstoff; denn Ozon liefert mit anderen Stoffen chemische Verbindungen, die ganz mit denen übereinstimmen, in welchen statt Ozon gewöhnlicher Sauerstoff aufgenommen wurde. Auch wird durch Erhitzen auf 250° Ozon in gewöhnlichen Sauerstoff zurückverwandelt. Obgleich Sauerstoff und Ozon aus denselben Atomen aufgebaut sind, können ihre Eigenschaften doch verschieden sein, weil die Atome in verschiedener Weise zu Molekülen zusammengefügt sein können. Die Beobachtung lehrt nun, daß 3 ccm Sauerstoff 2 ccm Ozon liefern; d. h. drei Moleküle Sauerstoff ergeben zwei Moleküle Ozon. Wenn (wie aus anderen Gründen sich ergibt) im Sauerstoffmolekül zwei Atome vereinigt sind, so haben wir in drei Sauerstoffmolekülen sechs Sauerstoffatome. Diese ergeben zwei Ozonmoleküle; also muß das Ozonmolekül durch Vereinigung von drei Sauerstoffatomen entstehen. Der verschiedene Aufbau des Moleküles aus den gleichen Atomen, die ungleiche Zahl derselben im Sauerstoff- und im Ozonmolekül, bringt die Unterschiede zwischen den beiden Gasen mit sich. Nähme man an, daß alle Elemente einatomige Moleküle haben, so wäre schwer zu verstehen, wie dasselbe Element bald als Sauerstoff, bald als Ozon auftreten kann. Man nennt eine Verschiedenheit, wie sie zwischen Sauerstoff und Ozon besteht, Allotropie. Ohne die Annahme, daß mehrere Atome im Molekül eines Elementes vereint sein können, wäre die Allotropie nicht leicht zu erklären.

Fortsetzung. Gewichtsverhältnisse bei chemischen Verbindungen (Stöchiometrie). Wir kehren nun zu den chemischen Verbindungen zurück, um das wichtigste Begründungsmaterial vorzuführen, welches die Chemie zur Bestätigung unserer atomistischen Vermutungen beibringen kann.

Gesetz der konstanten Proportionen.

Die Moleküle einer chemischen Verbindung sind allesamt in gleicher Weise aus Atomen aufgebaut. Enthält z. B. ein Molekül einer bestimmten Verbindung ein Atom des Elementes Wasserstoff und ein Atom des Elementes Chlor, so muß dies von allen Molekülen der gleichen Verbindung gelten. Nun haben alle Wasserstoffatome das gleiche Gewicht und ebenso alle Chloratome. Nehmen wir ein beliebiges Quantum unserer Verbindung, so muß der Wasserstoffgehalt derselben sich zu ihrem Chlorgehalt verhalten wie das Gewicht des Wasserstoffatoms zum Gewicht des Chloratoms; denn in jedem Molekül der Verbindung steckt ein Wasserstoffatom und ein Chloratom. Wir kommen zu dem Ergebnis, daß sich Wasserstoff und Chlor nicht in beliebigem Verhältnis zu unserer chemischen Verbindung vereinigen werden, sondern nur in einem ganz bestimmten, festen Gewichtsverhältnis, im Verhältnis der Atomgewichte von Wasserstoff und Chlor. In der Tat kommen beim Salzsäuregas immer auf 1 Gewichtsteil Wasserstoff 35,5 Gewichtsteile Chlor. Nimmt man mehr Wasserstoff, so bleibt von diesem nach dem Verbindungsvorgang ein unveränderter Rest zurück; nicht alle Wasserstoffatome haben ein Chloratom gefunden, mit dem sie sich zu einem

Salzsäuremolekül hätten vereinigen können. Wenn man mehr als 35,5 Gewichtsteile Chlor mit 1 Gewichtsteil Wasserstoff chemisch zu vereinigen sucht, so bleibt ein Chlorüberschuß zurück.

Wir haben soeben an einem Beispiel das Gesetz der „konstanten Proportionen" kennen gelernt. Dies Gesetz muß, wenn unsere atom- und molekulartheoretischen Vermutungen richtig sind, für jede chemische Verbindung gelten. Immer müssen in einem beliebigen Quantum der Verbindung die Elemente, die sie zusammensetzen, in den festen Gewichtsverhältnissen vorkommen, in denen sie in einem Molekül der Verbindung sich finden; denn alle Moleküle der Verbindung sind einander gleich. Die Erfahrung bestätigt unser Gesetz durchaus. Wasserstoff und Sauerstoff verbinden sich nicht etwa einmal in diesem, ein anderes mal in jenem Verhältnis zu Wasser; vielmehr herrscht dabei immer das Gewichtsverhältnis 1:8.

Das Gesetz der konstanten Proportionen paßt gut zu unseren Annahmen, besagt aber doch nicht allzuviel zu ihren Gunsten. Auch wenn wir nichts von Molekular- und Atomhypothesen wüßten, würden wir uns nicht sehr darüber zu wundern brauchen, daß sich die Elemente nach festen Gewichtsverhältnissen zu chemischen Verbindungen vereinigen. Überall ist ja das Naturgeschehen von festen Regeln beherrscht.

Ableitung des Gesetzes der multiplen Proportionen aus der Atomhypothese.

Indessen, wir können unser Gesetz der konstanten Proportionen mit einem anderen verbinden, welches nachdrücklich für die Atom- und Molekularhypothese spricht. Wir wollen uns daran erinnern, daß in den Molekülen von Elementen mehrere gleiche Atome vereinigt sein können; wir nahmen z. B. im Wasserstoffmolekül zwei Wasserstoffatome an. Da läßt sich vermuten, daß auch die Atome, die in dem Molekül einer chemischen Verbindung sich vereinigen, nicht alle verschieden zu sein brauchen; man kann sich z. B. denken, daß sich zwei Wasserstoffatome mit einem Sauerstoffatom zum Molekül einer bestimmten Verbindung vereinigen (wie es beim Wasser der Fall ist).

Erinnern wir uns ferner daran, daß beim Sauerstoff zwei, beim Ozon drei Sauerstoffatome sich zu einem Molekül verbinden! Da liegt die weitere Vermutung ganz nahe, daß ähnliche Verhältnisse auch bei der Vereinigung verschiedener Atome vorkommen können. Auch bei chemischen Verbindungen mag es also möglich sein, daß verschiedene Moleküle dieselben Atome in verschiedener Zahl vereinigen. Es handele sich um zwei Elemente, die wir mit M und N bezeichnen wollen. Sie können sich möglicherweise zu verschiedenen Verbindungen vereinigen lassen, indem etwa bei einer Verbindung sich ein Atom von M mit einem Atom von N zum Molekül vereint, bei einer anderen Verbindung ein Atom von M mit zwei Atomen von N, bei einer dritten zwei Atome von M mit drei Atomen von N, usw. Betrachten wir die Konsequenzen, die dies für die Gewichtsverhältnisse der Elementbestandteile unserer Verbindungen haben wird! M möge zugleich das Gewicht eines jeden Atoms des Elementes M bedeuten, N zugleich das Atomgewicht des Elementes N. Sind bei einer Verbindung je ein Atom von M und ein Atom von N zum Molekül vereinigt, so werden auch bei beliebigen Mengen dieser Verbindung auf M Gewichtsteile des

ersten Elementes N Gewichtsteile des zweiten kommen. Sind bei einer zweiten Verbindung je ein Atom von M und je zwei Atome von N zu einem Molekül vereinigt, so werden bei beliebigen Mengen dieser Verbindung auf M Gewichtsteile des ersten Elementes 2 $\times$ N Gewichtsteile des zweiten Elementes kommen. Sind bei einer weiteren Verbindung in jedem Molekül zwei Atome von M und drei Atome von N vereinigt, so werden auch bei beliebigen Mengen dieser Verbindung auf 2 $\times$ M Gewichtsteile des ersten Elementes 3 $\times$ N Gewichtsteile des anderen kommen, usw.

Es ist also denkbar, daß dieselben Elemente zu verschiedenen Verbindungen sich vereinigen, weil die Zahl der in ein Molekül eingehenden Atome verschieden sein kann. Da die Atome nach unserer Annahme bei chemischen Umwandlungen nicht geteilt werden können, muß die Gewichtsmenge eines Elementes, die in ein Molekül eingeht, immer ein ganzes Vielfaches des Atomgewichtes des Elementes sein. Die Gewichtsmengen von Elementen, die sich zu einer bestimmten chemischen Verbindung vereinigen lassen, müssen sich also verhalten wie die Atomgewichte oder wie ganze Vielfache der Atomgewichte; sie können nicht in beliebigen Verhältnissen zueinander stehen.

Damit wären wir zu einer Formulierung des „Gesetzes der multiplen Proportionen" gelangt. In ihr ist aber von Atomgewichten die Rede, also von Größen, die wir nicht ohne weiteres kennen. Doch ist das Atomgewicht eines Elementes, etwa gemessen am Atomgewicht des Wasserstoffs oder des Sauerstoffs, eine ganz bestimmte Zahl. Wir dürfen demnach unser Gesetz folgendermaßen formulieren: Die Gewichtsmengen von Elementen, die sich zu einer chemischen Verbindung vereinigen lassen, müssen sich verhalten wie bestimmte, für die einzelnen Elemente charakteristische Zahlen oder wie ganze Vielfache dieser Zahlen.

Dieses Gesetz, das sich leicht noch ein wenig um- und ausgestalten ließe, bildet in Verbindung mit dem Gesetz der konstanten Proportionen das wichtigste quantitative Grundgesetz der Chemie. Es wurde von Dalton in den Jahren 1807/08 gefunden. Er führte es 1808 in seinem „*New System of chemical Philosophy*" auf die atomistische Konstitution der Materie zurück. So wurde die Molekular- und Atomhypothese zur Grundlage der theoretischen Chemie.

Empirische Bestätigung des Gesetzes der multiplen Proportionen.

Wir haben nicht die Hypothese aus dem Gesetz, sondern das Gesetz aus der Hypothese abgeleitet. Wir haben demnach unseren Darlegungen noch hinzuzufügen, daß die Erfahrung unser hypothetisch abgeleitetes Gesetz in einer Unzahl von Fällen bestätigt. Es gelingt z. B. nicht, Stickstoff und Sauerstoff in beliebigen Gewichtsverhältnissen zu einem chemisch einheitlichen Körper zu vereinigen. Aber es gibt sechs verschiedene Stickstoff-Sauerstoffverbindungen. Bei der einen (Stickoxyd) kommen auf 14 Gewichtsteile Stickstoff 16 Gewichtsteile Sauerstoff. Bei einer anderen (beim Stickoxydul) kommen 2 $\times$ 14 Teile Stickstoff auf 16 Teile Sauerstoff. Bei einer dritten kommen auf 14 Teile Stickstoff 2 $\times$ 16 Teile Sauerstoff (Untersalpetersäure; eine Komplikation beim Verflüssigen und Verfestigen derselben darf hier unberücksichtigt bleiben). Bei einer vierten Verbindung (Stickstofftrioxyd oder Salpetrigsäureanhydrid)

kommen auf 2 × 14 Teile Stickstoff 3 × 16 Teile Sauerstoff. Bei einer fünften Verbindung (Stickstoffpentoxyd, Anhydrid der Salpetersäure) kommen auf 2 × 14 Teile Stickstoff 5 × 16 Teile Sauerstoff. Neuerdings ist von F. Raschig eine sechste Stickstoff-Sauerstoffverbindung gewonnen worden, bei der auf 14 Teile Stickstoff 3 × 16 Teile Sauerstoff kommen. Die festen, für die einzelnen Elemente charakteristischen Zahlen, von denen in unserem Gesetz die Rede ist, werden also für Stickstoff und Sauerstoff 14 und 16 sein. Stickstoff vereinigt sich in den relativen Gewichtsmengen 1 × 14 und 2 × 14 in unseren Verbindungen mit Sauerstoff in den relativen Mengen 1 × 16, 2 × 16, 3 × 16, 5 × 16.

Die Gewichtsverhältnisse werden sofort verständlich, wenn man annimmt, daß das Atomgewicht des Stickstoffs sich zu dem des Sauerstoffs wie 14 zu 16 verhält (14 und 16 sind die Atomgewichte von Stickstoff und Sauerstoff, wenn das Atomgewicht des Wasserstoffes als Einheit gewählt wird). Beim Molekül des Stickoxydes wird auf ein Atom Stickstoff ein Atom Sauerstoff kommen; daher das Gewichtsverhältnis 14 zu 16 beim Molekül und bei beliebigen Mengen des Stickoxydes. Beim Stickoxydul wird auf zwei Atome Stickstoff ein Atom Sauerstoff kommen; daher das Gewichtsverhältnis 2 × 14 zu 16 beim Molekül und bei beliebigen Mengen des Stickoxyduls. Bei der Untersalpetersäure werden auf ein Atom Stickstoff zwei Atome Sauerstoff kommen, beim Stickstofftrioxyd auf zwei Atome Stickstoff drei Atome Sauerstoff, beim Stickstoffpentoxyd auf zwei Atome Stickstoff fünf Atome Sauerstoff, bei der neuerdings von Raschig gewonnenen Verbindung auf ein Atom Stickstoff drei Atome Sauerstoff.

Das im Gesetz der multiplen Proportionen zum Ausdruck kommende merkwürdige Verhalten findet also in der Molekular- und Atomtheorie eine befriedigende Erklärung, die ihm ohne dieselbe fehlen würde. Diese Erklärung ist so einfach und einleuchtend, daß bereits eine allein auf unser Gesetz sich stützende Aufstellung der Atomlehre volle Beachtung verdienen würde. Die anderen Argumente der Mikrostrukturlehre kommen aber hinzu. Nehmen wir einmal die physikalische Molekulartheorie an, so drängt sich der Grundgedanke der Daltonschen Atomlehre geradezu auf. Beim Stickoxyd kommen auf 14 Teile Stickstoff 16 Teile Sauerstoff. Da Stickoxyd als einheitlicher Stoff aus lauter gleichen Molekülen besteht, wird das gleiche Gewichtsverhältnis 14 : 16 auch fürs Stickoxydmolekül gelten. Lassen wir das farblose Stickoxydgas mit Luft sich mischen, so entsteht unter Aufnahme von Sauerstoff die rotbraune Untersalpetersäure. Das Volum des Stickoxydes ändert sich nicht, wenn es sich in gasförmige Untersalpetersäure umwandelt. Also bleibt, da gleiche Gasvolumina gleich viele Moleküle enthalten, auch die Zahl der Moleküle die gleiche. Der Sauerstoffgehalt ist aber bei der Verwandlung von Stickoxyd in Untersalpetersäure auf das Doppelte gestiegen. Also wird jedes Stickoxydmolekül sein Sauerstoffquantum verdoppelt haben, indem es sich zum Molekül der gasförmigen Untersalpetersäure umwandelte. Zu dem Stickoxydmolekül ist ein solches Sauerstoffquantum hinzugetreten, wie es schon in ihm enthalten war. Warum ein

gleiches Quantum, warum nicht ein Bruchteil desselben? Die Antwort liegt ganz nahe: weil dies Quantum nicht geteilt werden kann, weil es eine (relativ) unteilbare Einheit, ein Atom, darstellt.

Vergleichen wir gleiche Volumina Stickoxydgas und Stickoxydulgas (=Lach- oder Lustgas), so zeigt sich, daß in ihnen gleiche Mengen Sauerstoff enthalten sind, daß aber der Stickstoffgehalt beim Stickoxydul doppelt so groß ist. Das gilt also auch von den Molekülen der beiden Gase. Auch das im Stickoxydmolekül enthaltene Stickstoffquantum kann nur als Ganzes noch einmal zu diesem Molekül hinzugefügt werden und verdient so die Bezeichnung Atom.

Wenn wir die Voraussetzung festhalten, daß in gleichen Raumteilen verschiedener Gase gleich viele Moleküle enthalten sind, so ergibt sich die Atomhypothese auch aus der Vergleichung von Verbindungen, die das gleiche Element enthalten. Wir vergleichen etwa je ein Liter Salzsäuregas, Wasserdampf, Ammoniak und Sumpfgas bei gleicher Temperatur und gleichem Druck in bezug auf ihren Wasserstoffgehalt. Derselbe ist im Wasserdampf zweimal, im Ammoniak dreimal und im Sumpfgas viermal so groß wie im Salzsäuregas. Da bei allen Gasen in einem Liter gleich viele Moleküle enthalten sind, enthält das Wasserdampfmolekül das doppelte, das Ammoniakmolekül das dreifache, das Sumpfgasmolekül das vierfache Wasserstoffquantum des Salzsäuremoleküls. Wir gewinnen wieder den Eindruck, daß das Wasserstoffquantum des Salzsäuremoleküles eine Einheit darstellt, die einzeln oder zu mehreren in verschiedene Moleküle eingehen kann, von der uns aber keine Bruchteile begegnen. Diese Einheit erscheint unteilbar und verdient so die Bezeichnung Atom.

Zur Bestätigung der Avogadroschen Regel.

Die von uns mehrfach herangezogene Voraussetzung, daß bei gleicher Temperatur und gleichem Druck gleiche Raumteile verschiedener Gase eine gleiche Anzahl von Molekülen enthalten, kann in verschiedener Weise begründet werden. Avogadro stellte diese Hypothese auf, um die erstaunliche Gleichartigkeit im physikalischen Verhalten verschiedener Gase zu erklären; der Zusammenhang von Temperatur, Druck und Volumen wird bei verschiedenen Gasen von dem gleichen Gesetz (etwa dem Boyle-Mariotte- und Gay-Lussac-Daltonschen) beherrscht. Die Avogadrosche Hypothese („Avogadrosche Regel“) kann aber noch in anderer Weise bestätigt werden, auf direktestem Wege durch Bestimmung der Loschmidtschen Zahl (der Zahl der Moleküle im Kubikzentimeter bei 0^0 und normalem Atmosphärendruck) bei verschiedenen Gasen. Und in der Tat erhält man befriedigend übereinstimmende Werte für die Loschmidtsche Zahl, wenn man diese etwa für Kohlensäure auf Grund der kinetischen Gastheorie (unter Benutzung der van der Waalsschen Zustandsgleichung), für Luft aus der Intensität des blauen Himmelslichtes, für Helium aus der Zählung der Lichtblitze, welche durch α-Teilchen (Heliummoleküle) auf Diamant oder Zinksulfid hervorgerufen werden, bestimmt.

Eine weitere Bewährung der Avogadroschen Annahme hängt aufs engste mit unseren atomistischen Anschauungen zusammen und kann ihnen als Stütze dienen. Wenn gleiche Volumina, z. B. Liter, verschiedener Gase gleich viele

Moleküle enthalten, so müssen die Gewichte von Litermengen verschiedener Gase sich verhalten wie die Gewichte ihrer Moleküle. Damit ist ein wertvolles Mittel gegeben, die relativen Molekulargewichte der Gase und Dämpfe zu bestimmen. Wir betrachten der Einfachheit wegen nur Elemente. Da zeigt sich nun, daß die Gewichte von Litermengen verschiedener Gase oder die Molekulargewichte derselben sich verhalten wie jene für die Elemente charakteristischen Zahlen, von denen im Gesetz der multiplen Proportionen die Rede war, oder wie ganze Vielfache jener Zahlen. Chlor und Wasserstoff verbinden sich im Gewichtsverhältnis 1 zu 35,5. Im gleichen Verhältnis stehen die Gewichte von einem Liter Wasserstoff und einem Liter Chlor oder die Molekulargewichte dieser Gase. Nun wollen wir uns der hypothetischen Bedeutung erinnern, die jenen für die Elemente charakteristischen Zahlen im Gesetz der multiplen Proportionen zukam: sie entsprechen den Atomgewichten. Also ergibt sich, daß für diejenigen Gase, die Elemente darstellen, die Molekulargewichte sich verhalten wie die Atomgewichte oder wie ganze Vielfache derselben. Für den atomistischen Standpunkt ist dies fast selbstverständlich; denn die Moleküle bestehen aus einem oder mehreren ganzen Atomen (meist aus zweien oder einem), und ihre Gewichte müssen sich daher verhalten wie die der Atome oder wie ganze Vielfache der Atomgewichte. So erklärt sich aus der Avogadroschen Annahme und der atomistischen Hypothese ohne weiteres jene seltsame Beziehung zwischen den Gewichten gleicher Volumina gasförmiger Elemente und den charakteristischen festen Zahlen der Elemente, von denen im Gesetz der multiplen Proportionen die Rede ist.

Eine weitere stöchiometrische Bestätigung der Atomhypothese.

Folgende Überlegung ist unabhängig von der Avogadroschen Annahme. Beim Natriumhydroxyd kommen auf 1 Teil Wasserstoff 23 Teile Natrium. Beim Salzsäuregas kommen auf 1 Teil Wasserstoff 35,5 Teile Chlor. Beides ist nicht weiter erstaunlich, entspricht einfach dem Gesetz der konstanten Proportionen. Nun betrachten wir Chlornatrium oder Kochsalz; das Gesetz der konstanten Proportionen fordert, daß im Kochsalz Natrium und Chlor in festem Gewichtsverhältnis vereinigt sind, daß also auf 23 Teile Natrium immer eine bestimmte Zahl von Gewichtsteilen Chlor kommt. Wird letztere Zahl durch das Experiment festgelegt, so erhält man wiederum — wie beim Salzsäuregas — 35,5. Daß es wiederum gerade 35,5 Teile Chlor sind, wird vom Gesetz der konstanten Proportionen nicht gefordert, ist aber nach der Atomhypothese leicht zu verstehen. Wir werden etwa annehmen, daß beim Natriumhydroxyd auf ein Atom Wasserstoff ein Atom Natrium kommt, welches also 23 mal so schwer wäre wie das Wasserstoffatom; ferner, daß im Salzsäuregas ebenfalls auf ein Atom Wasserstoff ein Atom Chlor kommt, das 35,5 mal so schwer ist wie das Wasserstoffatom. Wenn nun beim Chlornatrium auf ein Atom Natrium ein Atom Chlor kommt, so versteht es sich von selbst, daß 23 Gewichtsteilen Natrium 35,5 Teile Chlor entsprechen müssen, weil eben das Gewicht des Natriumatoms sich zu dem des Chloratoms verhält wie 23 zu 35,5. Kurz, die in unserem Beispiele vorliegende und in ähnlicher Weise sich in ungezählten Fällen wiederholende Gesetzmäßigkeit erklärt sich einfach daraus, daß es dieselben

unteilbaren Einheitsmengen, dieselben Atome sind, welche in die verschiedenen Verbindungen eingehen.

Die Gewichtsverhältnisse bei chemischen Umwandlungen, mit denen sich die „Stöchiometrie" beschäftigt, entsprechen in jeder Hinsicht der Molekular- und Atomtheorie und bleiben bei Ablehnung derselben ohne umfassende und befriedigende Erklärung.

Erforschung des Aufbaus der verschiedenen Moleküle.

Auf die stöchiometrischen und physikalisch-chemischen Methoden zur Erforschung des Aufbaues der Moleküle aus den Atomen bei den verschiedenen Elementen und Verbindungen kann hier nur kurz eingegangen werden. Daß die Gewichtsverhältnisse bei chemischen Verbindungen über den Aufbau der Moleküle einigen Aufschluß zu geben vermögen, hat sich uns im Vorhergehenden bereits ergeben. Jene charakteristischen Zahlen, von denen im Gesetz der multiplen Proportionen die Rede war, entsprechen, wie wir sahen, den Atomgewichten. Sie betragen z. B. für Wasserstoff und Sauerstoff 1 und 16. Wenn wir nun finden, daß im Wasser auf 16 Gewichtsteile Sauerstoff 2 Gewichtsteile Wasserstoff kommen, so werden wir annehmen, daß im Wassermolekül auf ein Sauerstoffatom zwei Wasserstoffatome kommen. Die einfachste Annahme, die sich auch durchaus bewährt, ist die, daß sich ein Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatome zum Wassermolekül vereinigen.

Ein wertvolles Hilfsmittel bei der Erforschung des Aufbaues der Moleküle bietet die Bestimmung der Dichten (d. h. der Gewichte der Volumeinheit) von Gasen und Dämpfen. Aus der Avogadroschen Regel folgt, daß diesen Gewichten, den Dampfdichten, die Molekulargewichte entsprechen. Da bei chemischen Umwandlungen das Gewicht erhalten bleibt, ist anzunehmen, daß die Atome stets gleiches Gewicht besitzen, wie sie auch zu Molekülen verbunden sein mögen. Das Molekulargewicht muß also gleich der Summe der Gewichte der im Molekül vereinigten Atome sein. Wir können demnach aus dem Aufbau der Moleküle und aus den Atomgewichten die Molekulargewichte berechnen. Diese müssen dann den Dampfdichten entsprechen. So gibt die Bestimmung der Dampfdichten, die Wägung von Gasen, eine Kontrolle der Annahmen über den Aufbau der Moleküle und ein Mittel zu ihrer Berichtigung und Festlegung.

Andere Mittel kommen hinzu. Wir erwähnen nur die Beziehungen zwischen Atomgewicht, Molekulargewicht und spezifischer Wärme (spezifischem Wärmeaufnahmevermögen). Manchmal kann die Kristallform Aufschluß über den Bau eines Moleküles geben, weil analog zusammengesetzte Moleküle oft Kristalle von gleicher Form liefern. Weitere Mittel mögen unerwähnt bleiben.

Die Chemiker haben dargetan, daß die Zahl der Atome im Molekül eine sehr verschiedene sein kann. Bei manchen gasförmigen Elementen, bei Metalldämpfen, Helium und Argon bildet ein einziges Atom zugleich das Molekül, d. h. die einzelnen Atome bilden unmittelbar die Teilchen, die in diesen Gasen durcheinandereilen. Bei vielen Elementen und Verbindungen, z. B. beim Wasserstoff- und beim Salzsäuregas, sind zwei gleiche bzw. verschiedene Atome zum Molekül vereinigt. Bei überaus zahlreichen Verbindungen ist die Zahl der Atome im Molekül verhältnismäßig klein. Es gibt aber auch viele Verbindungen,

bei denen eine große Anzahl von Atomen im Molekül zusammengebunden ist; das ist besonders bei kohlenstoffhaltigen Verbindungen („organischen Verbindungen") oft der Fall, wie sie etwa in den Lebewesen vorkommen; als Beispiel können die Eiweißkörper dienen.

Nicht nur die Zahl der verschiedenen Atome im Molekül kann bestimmt werden. Sehr häufig gelingt es auch, etwas darüber auszumachen, wie die einzelnen Atome und Atomkomplexe im Molekül zusammengefügt sind. Nehmen wir an, ein Molekül enthalte Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Wasserstoffatome, so kann etwa bestimmt werden, ob die einzelnen Wasserstoffatome an Kohlenstoff- oder an Sauerstoffatome gebunden sind. Die Art der Zusammenfügung der Atome im Molekül spiegelt sich eben in den chemischen und physikalischen Eigenschaften der Stoffe. Von besonderem Interesse sind gewisse optische Wirkungen von organischen, d. h. Kohlenstoffverbindungen (Drehung der Polarisationsebene), weil sie einen tieferen Einblick in die räumliche Anordnung der Atome im Molekül zu ermöglichen scheinen, wie Le Bel und van't Hoff dargelegt haben.

In neuerer Zeit hat die Stereochemie, die Lehre von der räumlichen Anordnung der Atome im Molekül, auch bei anorganischen Verbindungen Erfolge erzielt (A. Werner).

Kritisches zur chemischen Molekular- und Atomtheorie. Die Leistungen der Molekular- und Atomlehre bei der Erklärung und Veranschaulichung chemischer und physikalisch-chemischer Erscheinungen sind so bedeutende und vielseitige, daß diese Lehre praktisch so gut wie unentbehrlich erscheint. Zugleich drängt sich die Überzeugung auf, daß eine so wohlbewährte Auffassung im wesentlichen der Wirklichkeit entsprechen müsse, daß sie nicht lediglich eine bequeme Fiktion, ein konventionelles Mittel zur Darstellung und Veranschaulichung zahlreicher Erscheinungen sein könne.

Und doch könnten gewisse Überlegungen zu dem Gedanken führen, daß die chemische Molekular- und Atomlehre mehr oder weniger konventionell sei. Es ist an diesem Orte nicht angängig, diese Überlegungen ausführlicher wiederzugeben. Sie werden schließlich doch nicht als stichhaltig zu betrachten sein. Ihr Gewicht wäre größer, wenn die Atom- und Molekularlehre nur zur Verdeutlichung des Gesetzes der konstanten und multiplen Proportionen diente. Wir haben gesehen, daß sie viel mehr leistet. Es ist unerfindlich, wie eine Konvention, die nicht der Wirklichkeit entspricht, doch eine so große Fülle von Erfahrungstatsachen zu erklären imstande sein soll.

Das „Gesetz" der konstanten und multiplen Proportionen eine Konvention?

Wir wollen klar machen, wie man auf den Gedanken kommen kann, das „Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen" sei mehr oder weniger konventionell. Dies „Gesetz" ist ja die eigentliche Grundlage der chemischen Atom- und Molekularlehre; ist dasselbe konventionell, so wird das auch von dieser Lehre gelten — von vornherein ist allerdings zu betonen, daß die physikalische Molekulartheorie, die ja ganz selbständig fundiert ist, damit durchaus noch nicht zur konventionellen Fiktion degradiert wäre —. Der Unterschied zwischen Gemischen und chemisch einheitlichen Körpern wurde bereits be-

sprochen; zu den letzteren gehören auch die chemischen Verbindungen, wie Wasser, Salzsäuregas usw. Man pflegt zuweilen die Gemische gegenüber den chemisch einheitlichen Verbindungen dadurch zu charakterisieren, daß man die ersteren als durch mechanische Mittel in chemisch verschiedene Stoffe zerlegbar bezeichnet; bei den chemischen Verbindungen sollten demnach solche Mittel zur Zerlegung nicht ausreichen. Es wurde schon angedeutet, daß dieser Versuch, begrifflich Gemische und einheitliche Stoffe, insonderheit Verbindungen, zu scheiden, nicht frei von Schwierigkeiten ist. Die Mittel, die wir zur Trennung von Gemischen brauchen, sind gar nicht alle im strengen Sinne mechanischen Charakters — man denke z. B. nur an die Destillation. Und vielfach können dieselben Hilfsmittel auch chemische Zersetzungen bewirken. Wir trennen z. B. Alkohol von Wasser, indem wir ihn abdestillieren, indem wir also das Gemisch erwärmen. Jedoch Erwärmung bewirkt in vielen Fällen auch chemische Zersetzung.

Die Stöchiometrie gibt uns nun im Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen ein anderes Mittel an die Hand, Gemische und Verbindungen zu unterscheiden. Ich kann z. B. Wasserstoff und Chlor in ganz beliebigem Verhältnis mischen; wenn ich aber etwa durch Sonnenlicht eine Verbindung zwischen den beiden Gasen bewirke, so kommen in dieser auf 1 Gewichtsteil Wasserstoff immer 35,5 Teile Chlor; andere Gewichtsverhältnisse sind dabei nicht möglich, und wenn vor dem Verbindungsvorgang Wasserstoff und Chlor in anderem Gewichtsverhältnis da waren, so bleibt einfach von dem einen oder dem anderen Gase ein unveränderter Überschuß zurück. Gegenüber den Gemischen sind also die chemischen Verbindungen dadurch charakterisiert, daß ihre Bestandteile nicht in beliebigen, sondern in festen Gewichtsverhältnissen zusammentreten, entsprechend dem Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen. Stickstoff und Sauerstoff lassen sich in beliebigem Verhältnis mischen, aber bei Stickstoff-Sauerstoffverbindungen stehen die beiden Elemente stets im Verhältnis ihrer charakteristischen Zahlen (Atomgewichte) oder ganzer Vielfacher dieser Zahlen.

Werden nach diesem Gesichtspunkte Gemische und Verbindungen unterschieden, so erscheint das „Gesetz" der konstanten und multiplen Proportionen in einem eigentümlichen Lichte. Kein Wunder, daß ihm die Verbindungen entsprechen; denn sonst würden wir sie eben nicht als solche bezeichnen, sondern als Gemische ansprechen. Dies „Gesetz" beruht also auf der Konvention, nur da von einer Verbindung zu reden, wo ihm Genüge geschieht.

Ablehnung der konventionalistischen Auffassung.

Indessen so einfach ist die Durchführung der konventionalistischen Auffassung denn doch nicht. Verbindungen unterscheiden sich von Gemischen noch in anderer Weise als durch die Besonderheit der Gewichtsverhältnisse. Der Vorgang der chemischen Verbindung zweier Stoffe ruft eine viel tiefer greifende Veränderung hervor als der der Mischung. Wir haben dies bereits beim Vergleich der Chlor-Wasserstoff-Mischung mit der Chlor-Wasserstoff-Verbindung (dem Salzsäuregas) gesehen. Das brennbare Wasserstoffgas und das die Verbrennung unterhaltende Sauerstoffgas verbinden sich zu flüssigem Wasser,

welches weder brennt noch die Verbrennung unterhält. Es gibt viele Tausende von Verbindungsvorgängen, die man ohne weiteres von bloßen Mischungsvorgängen unterscheiden kann, auch wenn man die Gewichtsverhältnisse ganz außer Betracht läßt. Untersucht man die letzteren aber in solchen Fällen, in denen man von vornherein annehmen muß, daß es sich um Verbindungen, nicht um Mischungen handelt, so findet man das Gesetz der Gewichtsproportionen bestätigt. Dies Gesetz ist also nicht als bloße Konvention aufzufassen; es stellt eben keineswegs die einzige Norm dar, die uns entscheiden läßt, ob eine Verbindung oder eine Mischung vorliegt.

Es muß allerdings zugegeben werden, daß die Unterscheidung von Mischung und Verbindung nicht immer so einfach liegt wie in den angeführten Beispielen. Es gibt schwierigere, kompliziertere Verhältnisse, die für konventionalistische Interpretationen günstiger sind. Sie können hier nicht gut zur Darstellung kommen. Wir dürfen um so eher von einer solchen absehen, als die chemische Molekular- und Atomlehre doch nicht nur als eine isolierte Hypothese beurteilt werden darf; sie gliedert sich in so natürlicher Weise in den ganzen Hypothesenbau der Mikrostrukturlehre ein, daß sie an der Festigkeit der letzteren eine starke Stütze findet, die sie gegen konventionalistische Angriffe schützt. Sind erst die physikalische Molekulartheorie und die entsprechende Interpretation der Aggregatzustände befriedigend begründet, so ergibt sich die chemische Atomistik mit ihrer Interpretation der Gewichtsproportionsgesetze fast von selbst. Man unterschätzt die Festigkeit einzelner Teile der Mikrostrukturlehre, wenn man bei ihrer Kritik diesen gegenseitigen Halt außer acht läßt, den die Einzelhypothesen des ganzen Theoriengebäudes einander bieten.

Die chemische Atomistik erscheint uns als eine wohlbegründete Hypothese. Eine andere Frage aber ist es, ob sie das ,,Wie" und ,,Warum" der Vereinigung der Atome im Molekül in befriedigender Weise verständlich machen kann. Vielfach wird die Sache so dargestellt, als ob sich beim Verbindungsvorgang die Atome im neuen Molekül unverändert nebeneinander legten. Es bliebe aber möglich, daß bei der Vereinigung der Atome diese selbst nicht unwesentlich verändert werden; eine gewisse gegenseitige Beeinflussung der im Molekül verbundenen Atome erscheint sogar wahrscheinlich, wenn man die alsbald darzustellenden Lehren vom Aufbau der Atome annimmt. Jedenfalls aber muß verständlich gemacht werden, warum die Atome sich zu Molekülen vereinigen und unter Umständen nur schwer aus diesen herausgerissen werden können; manche Verbindungen sind ja nur durch sehr erhebliche Kräfte zu zerlegen. Um die Vereinigung der Atome und ihr Zusammenhalten im Molekül zu erklären, schreibt man ihnen vereinigende Kräfte, chemische Verwandtschaftskräfte oder Affinitäten zu. Diese Kräfte, diese Verbindungstendenzen, sind zwischen verschiedenen Atomen verschieden stark; ein Atom kann ein zweites einem dritten oder einem Molekül entreißen. Natriumatome können aus Wassermolekülen Teile herausreißen, so daß von diesen Molekülen nur Wasserstoffatome übrig bleiben.

Verwandtschaftskräfte der Atome.

Schon frühzeitig wurde vermutet, daß die chemischen Affinitäten nicht Kräfte eigner Art seien, sondern auf elektrischer Anziehung beruhen (Berzelius). Diese Auffassung hat durch die neueste Fortbildung der Mikrostrukturlehren, durch die Elektronentheorie, eine neue Stütze und Ausgestaltung erhalten.

Die Elektronentheorie. Die Molekular- und Atomhypothese, wie wir sie bisher dargestellt haben, bildete bis vor nicht allzu langer Zeit den wesentlichen Inhalt der Mikrostrukturlehre. Zwar wurde sie durch mancherlei Hilfshypothesen ausgebaut; es sei nur der Dissoziationshypothesen gedacht, die besagen, daß manche Moleküle von Dämpfen (z. B. beim Salmiak) und von gelösten Stoffen (z. B. beim Kochsalz in wässeriger Lösung) in kleinere Atomkomplexe oder Atome zerfallen; so zerfallen etwa Kochsalzmoleküle (= Chlornatriummoleküle) im Wasser in Chloratome und Natriumatome, denen überdies entgegengesetzte elektrische Ladungen zugeschrieben werden (elektrolytische Dissoziation; die elektrisch geladenen Molekülbruchstücke, Atome oder Atomkomplexe, heißen Ionen). Aber die Atome der chemischen Elemente blieben die letzten Bausteine, über die nur vage Vermutungen hinausführten, obwohl im Laufe der Zeit einige Tatsachen zusammenkamen, die deutlich verrieten, daß die Atome keine strukturlosen Ureinheiten, sondern Gebilde von kompliziertem innerem Bau sein müssen. Erst die Lehre von der atomistischen Struktur der Elektrizität, die Elektronentheorie, führte hier weiter. Sie hat eine Fülle von Erscheinungen unter gleichartige Gesichtspunkte gebracht und erklärt, und sie hat einen Einblick in den inneren Bau der Atome eröffnet, der bereits heute, wo noch gar vieles im Unklaren liegt, eine prinzipielle, epochemachende Erweiterung der Mikrostrukturlehre bedeutet.

Wir müssen also, um unsere Darstellung des unsichtbaren Aufbaues der Körperwelt zu Ende führen zu können, zunächst die Grundzüge der Elektronenlehre entwickeln.

Man pflegte früher die elektrischen Erscheinungen auf elektrische Flüssigkeiten zurückzuführen. Schrieb man nun gewöhnlichen Flüssigkeiten, wie dem Quecksilber, eine atomistische Struktur zu, so lag der Gedanke nicht fern, daß auch die elektrischen „Fluida“ aus Atomen aufgebaut seien. Die Auffassung von der atomistischen Struktur der Elektrizität ist in der Tat vor der Entwicklung der modernen Elektronentheorie bei mehreren hervorragenden Physikern aufgetaucht. So nahm Weber (1871) an, daß die Elektrizität aus Atomen bestehe, um die Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen zu erklären. Doch sagten seine Annahmen über die Fernkräfte, welche die Elektrizitätsatome aufeinander ausüben sollten, den Physikern wenig zu, und die Resultate seiner Hypothesen waren nicht in jeder Hinsicht einwandfrei.

Eine eindrucksvolle, haltbare Begründung der Lehre vom atomistischen Aufbau der Elektrizität, der Elektronenlehre, gab Helmholtz in einem Vortrage, den er 1881 in London zu Ehren Faradays hielt. Er stützte sich dabei auf von diesem bahnbrechenden Physiker entdeckte Gesetze, welche die Elektrolyse, d. h. die chemische Zersetzung flüssiger bzw. gelöster Verbindungen durch den elektrischen Strom beherrschen.

Ableitung der Elektronentheorie aus den Grundgesetzen der Elektrolyse.

Wird eine chemische Verbindung, z. B. Chlorwasserstoff in wässeriger Lösung, durch den elektrischen Strom zersetzt, so entspricht die Menge der Zersetzungsprodukte der Elektrizitätsmenge, die die Zersetzung bewirkte. Wird diese Elektrizitätsmenge verdoppelt oder verdreifacht, so verdoppelt oder verdreifacht sich auch die Menge der Zersetzungsprodukte; es entstehen doppelt oder dreimal so viel Wasserstoff und Chlor bei Zersetzung von Chlorwasserstoff. Mit anderen Worten, der Elektrizitätsmenge entspricht die Menge oder Zahl der bei der Zersetzung frei werdenden Chloratome und ebenso diejenige der Wasserstoffatome. Auf jedes Chloratom und jedes Wasserstoffatom mag also immer dieselbe Elektrizitätsmenge kommen. Wird Wasser, dessen Moleküle aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom bestehen, durch den elektrischen Strom zersetzt, so zeigt sich, daß dabei eine bestimmte Elektrizitätsmenge dieselbe Wasserstoffmenge liefert wie bei der Zersetzung von Chlorwasserstoff, daß also auch hier auf ein Wasserstoffatom dieselbe Elektrizitätsmenge kommt wie bei der Chlorwasserstoffzerlegung. Auf eine bestimmte Elektrizitätsmenge kommen aber bei der Wasserzersetzung nur halb so viele Sauerstoffatome wie Wasserstoffatome. Einem Sauerstoffatom entspricht also das Doppelte der Elektrizitätsmenge, die auf ein Wasserstoffatom oder auch Chloratom kommt. Bei anderen Atomen (den sog. dreiwertigen, z. B. Stickstoffatomen) ist die Elektrizitätsmenge dreimal so groß wie beim Wasserstoffatom oder Chloratom.

Man kommt so zu dem allgemein geltenden Ergebnis, daß die winzige Elektrizitätsmenge, die zur Produktion eines Atoms durch elektrische Zersetzung eines Moleküls erforderlich ist, stets den gleichen, doppelten, dreifachen oder vierfachen Betrag von derjenigen Elektrizitätsmenge darstellt, die zur Produktion eines Wasserstoffatoms oder Chloratoms erforderlich ist. Wir wollen die letztere Elektrizitätsmenge (insbesondere bei negativer Elektrizität!) mit einem von Stoney herrührenden Namen als Elektron bezeichnen. Dann dürfen wir sagen: Zur Produktion eines Atoms durch elektrische Zerlegung ist stets eine ganze (und zwar kleine) Zahl von Elektronen erforderlich; auf je ein Atom kommen ein, zwei usw. Elektronen, nie aber ein halbes, ein und ein halbes usw.

Das legt die Deutung nahe, daß die Elektronen unteilbare Elektrizitätsquanten, Elektrizitätsatome darstellen, die nur als Ganze wirken und existieren. Die Sachlage ist ja ähnlich derjenigen, welche in Daltons Gesetz der multiplen Proportionen formuliert wird. Diese Ähnlichkeit tritt noch deutlicher hervor, und unsere Deutung gewinnt an überzeugender Kraft, wenn man die herrschende, wohlbegründete Hypothese der elektrischen Zersetzung annimmt. Nach dieser Hypothese beruht der elektrische Strom, der etwa in Wasser gelösten Chlorwasserstoff zersetzt, darauf, daß die Chloratome und die Wasserstoffatome mit negativer bzw. positiver Elektrizität beladen durch die Flüssigkeit in entgegengesetzten Richtungen wandern, so daß die Chloratome zum positiven, die Wasserstoffatome zum negativen Pol gelangen. Die Elektrizitätsmenge des zersetzenden Stromes wird also von den Atomen in kleinen Portionen durch die Flüssigkeit transportiert. Die Chloratome tragen z. B. in der strom-

durchflossenen Chlorwasserstofflösung negative elektrische Ladungen zum positiven elektrischen Pol und geben sie dort an diesen ab. Wenn nun zu jedem durch elektrische Zersetzung produzierten Atom ein oder zwei oder drei usw. ganze Elektronen erforderlich sind, so heißt dies, daß eben jedes Atom als Ladung nur die Elektrizitätsmenge von einem oder zwei oder drei usw. Elektronen tragen und an den elektrischen Pol abgeben kann, nicht aber Bruchteile dieser Elektrizitätsmenge. Wenn wir, wie üblich, die mit solchen Ladungen versehenen Atome (oder auch Atomkomplexe) als Ionen bezeichnen, so haben wir zu sagen, daß die Ladungen, die von den Ionen getragen und abgegeben werden, immer eine bestimmte Elektrizitätsmenge oder ganze Vielfache derselben, des Elektrons, darstellen. Wie die Atome nur als Ganze, einzeln oder zu zweien, dreien usw., in den Molekülen auftreten, so stecken in den Ionen die Elektronen nur als Ganze, und zwar einzeln oder zu zweien, dreien usw.

Übrigens bleibt zu bedenken, daß etwa die Entziehung eines negativen Elektrons einem Atom oder Atomkomplex gleiche positive Ladung verleiht wie die Zuführung derselben Menge positiver Elektrizität. In der Tat nimmt man an, daß die positiven Ionen ihre Ladung dem Verlust negativer Elektrizität verdanken. Die Gründe hierfür kommen noch zur Sprache.

Größe des elektrischen Elementarquantums (des Elektrons).

Es wurde bereits dargelegt, daß das Gewicht eines einzelnen Moleküls bestimmt werden kann. Wenn wir die Molekulargewichte des Wasserstoffs und des Chlors kennen, so ergeben sich sofort ihre Atomgewichte, da wir annehmen dürfen, daß zwei Wasserstoffatome ein Wasserstoffmolekül, zwei Chloratome ein Chlormolekül bilden. Wenn wir nun wissen, wieviel ein Chloratom und wieviel ein Wasserstoffatom wiegt, und festgestellt haben, welche Chlormenge und Wasserstoffmenge bei Chlorwasserstoffzersetzung von einer bestimmten Elektrizitätsmenge produziert werden, können wir leicht berechnen, welche Elektrizitätsmenge auf ein Chloratom und ein Wasserstoffatom kommt. Es handelt sich um ein sehr kleines Quantum (0,000 000 000 48 elektrostatische Zentimeter-Gramm-Sekunden-Einheiten).

Von größtem Interesse ist es, daß das Minimalquantum, welches stets nur als Ganzes in den Ionen von „Elektrolyten", d. h. von Flüssigkeiten, die vom elektrischen Strom zersetzt werden, vorzukommen scheint, uns auch bei anderen Phänomenen entgegentritt. Mit Hilfe mancher Strahlen, wie sie z. B. vom Radium ausgesandt werden, ist man in der Lage, in wasserdampfhaltigen Gefäßen winzige, elektrisch geladene Tröpfchen zu erzeugen. Diese bilden in ihrer Gesamtheit einen Nebel. Man ist imstande gewesen, die Ladung solcher Nebeltröpfchen zu bestimmen. Den Weg zu diesem Erfolg hat zunächst der um die Elektronentheorie sehr verdiente J. J. Thomson gebahnt. Andere (Wilson, dann Begemann und Millikan) haben das Verfahren vervollkommnet. Schließlich ist es Millikan gelungen, ein einzelnes Flüssigkeitströpfchen (er benutzte Öl statt Wasser) ins Auge zu fassen und auf seine elektrische Ladung hin zu prüfen. Verschiedene Tröpfchen hatten verschiedene Ladungen, und die Ladung eines bestimmten wechselte zuweilen während des Versuches. Immer aber betrug die von einem Tröpfchen getragene Elektrizitätsmenge ein ganzes Viel-

Die Ladungen von Flüssigkeitströpfchen, Heliummolekülen, Gasionen bestätigen die Hypothese eines Elektrizitätsatoms.

faches von einem bestimmten winzigen Elektrizitätsquantum. Wenn also ein und dasselbe Tröpfchen seine Ladung z. B. vergrößert, so geschieht das nicht allmählich, sondern sprungweise, indem plötzlich jenes Elementarquantum oder ein ganzes Vielfaches desselben hinzukommt.

Wiederum muß sich die Vorstellung aufdrängen, daß dies Quantum eine unteilbare Einheit, ein Elektrizitätsatom repräsentiert. Es kommt aber hinzu, daß es mit dem als Elektron bezeichneten, uns bei der elektrischen Flüssigkeitszersetzung begegnenden Quantum übereinstimmt. Allerdings ergeben die Beobachtungen nur angenäherte Übereinstimmung; das erklärt sich jedoch leicht aus der Schwierigkeit der Bestimmungen. Übrigens dürfte Millikans letzte Messung dem wirklichen Werte des Elementarquantums recht nahe kommen.

A. Joffé hat neuerdings statt der geladenen Tröpfchen mit entsprechendem Erfolge geladene Metallstäubchen benutzt.

Auch bei der Untersuchung der sog. α-Strahlen radioaktiver Stoffe stoßen wir auf Elektrizitätsmengen, welche ganze Vielfache unseres Elementarquantums darstellen. Die α-Strahlen bestehen aus positiv-elektrisch geladenen Heliumatomen (oder -molekülen). Da jedes dieser von der radioaktiven Substanz (etwa vom Polonium) ausgeschleuderten Atome auf einem Diamanten ein sichtbares Aufleuchten hervorruft, ist eine Zählung derselben möglich. Ferner kann man die Elektrizitätsmenge bestimmen, welche von einer großen Zahl dieser Heliumatome, der α-Teilchen, getragen wird und an eine Metallplatte abgegeben werden kann. So vermochte Regener dann die Ladung eines einzelnen α-Teilchens zu berechnen. Sie betrug mit sehr weitgehender Genauigkeit das Doppelte des von Millikan für das elektrische Elementarquantum gefundenen Wertes. Rutherford und Geiger kamen mit Hilfe eines anderen Verfahrens zur Zählung der geladenen Heliumatome zu einem nahezu gleichen Ergebnis. Neuerdings können die ausgeschleuderten α-Teilchen gezählt werden, indem man ihre Bahnen in Wasserdampf nach dem bereits erwähnten Wilsonschen Verfahren sichtbar macht. Jedes α-Teilchen führt in (übersättigtem) Wasserdampf auf seiner Bahn eine Kondensation des Dampfes zu feinen Tröpfchen herbei, die dann den Weg des Heliumatoms sichtbar werden lassen.

Nach mehreren Verfahren lassen sich die Ladungen von Gasionen, d. h. elektrisch geladenen Gasteilchen von molekularer Größe, direkt oder indirekt bestimmen. Die Nebeltröpfchen, von denen oben die Rede war, entnehmen ihre Ladungen der ionisierten Atmosphäre, in der sie schweben (die Öltröpfchen Millikans erlangten schon bei der Zerstäubung des Öles eine gewisse Ladung). Mag es sich nun aber um die geladenen Heliumgasmoleküle der α-Strahlen oder um andere Gasionen handeln, immer werden Ladungen gefunden, die mit unserem elektrischen Elementarquantum oder einem ganzen Vielfachen desselben übereinstimmen. Darum ist die Hypothese berechtigt, daß dieses Elementarquantum eine elektrische Ureinheit, ein Elektrizitätsatom darstellt.

Fortsetzung. Elektronentheorie der Elektrizität mit sich führenden Strahlen. Wir haben bisher nur von elektrischen Ladungen gesprochen, die von Atomen, Atomkomplexen oder ganzen Flüssigkeitströpfchen

getragen werden. Es gibt aber mannigfaltige Erscheinungen, welche zu der Auffassung hinführen, daß wenigstens negative elektrische Elementarteilchen, negative Elektronen, auch unabhängig von den gewöhnlichen chemischen Atomen existieren können.

Wesen der Kathoden- und β-Strahlen.

Solche freien negativen Elektronen bilden nach wohlbegründeter Auffassung die Kathodenstrahlen, welche z. B. in verdünnten Gasen von einem negativ elektrischen Pole ausgehen, und die wesentlich gleichartigen β-Strahlen radioaktiver Stoffe. Diese Strahlen sind imstande, einen Körper, auf den sie treffen, zu erwärmen und in Bewegung zu setzen, wie wenn sie eine Stoßwirkung auf ihn ausübten; übrigens könnte dieser Bewegungseffekt auch in anderer Weise, etwa als Folge einer Erwärmung und elektrostatischer Kräfte, erklärt werden. Wie dem aber auch sein mag, schon die Tatsache, daß zwei sich kreuzende Kathoden- oder auch β-Strahlungen sich so wenig stören wie zwei Ströme von Flintenkugeln, legt den Gedanken nahe, daß jene Strahlungen Scharen von bewegten, diskreten Partikelchen repräsentieren. Vor kurzem ist es nun gelungen, die Bahnen der einzelnen β-Teilchen, welche eine β-Strahlung bilden, sichtbar zu machen und zu photographieren. Das bereits skizzierte Wilsonsche Verfahren, welches die Bahnen der α-Teilchen sichtbar werden läßt, kann auch die Wege der β-Teilchen wahrnehmbar machen; auch diese können auf ihrem Wege Wasserdampf zu Tröpfchen verflüssigen, die dann die Bahnen der Teilchen in Erscheinung treten lassen.

Nehmen wir also an, daß die Kathoden- und β-Strahlen durch bewegte, diskrete Teilchen gebildet werden, so ergibt sich weiter, daß sie negative Elektrizität mit sich führen. Diese läßt sich in ziemlich einfacher Weise auffangen, wie J. Perrin und das Ehepaar Curie nachwiesen. Auch gehen Kathodenstrahlen von negativ geladenen Körpern aus. Wir werden also zu der Vermutung gedrängt, daß die diskreten Teilchen der Kathoden- und β-Strahlen eine negative Ladung tragen.

Nun fragt es sich weiterhin, welcher Art diese Teilchen der Kathoden- und β-Strahlen, die wir kurz β-Teilchen nennen wollen, sein mögen. Da ist zunächst ein negatives Resultat von wesentlicher Bedeutung. Unsere Strahlen zeigen immer wesentlich die gleichen Eigenschaften, einerlei, von welchen Stoffen sie ausgehen, und in welchem Medium sie sich fortpflanzen; es kommt nicht darauf an, von welchem radioaktiven Stoff die β-Strahlen, von welchem Metall die Kathodenstrahlen ausgehen, und in welchem Gas sie entstehen. Die β-Teilchen werden also wohl immer von gleicher Natur sein; diese ist mithin von dem Stoffe, von dem die Teilchen kommen, und von dem Gas, in dem sie fliegen, unabhängig. Es wird sich demnach wohl nicht um die gewöhnlichen, von Stoff zu Stoff vielfach verschiedenen Moleküle oder Atome handeln. Wenn man Kathoden- oder β-Strahlen durch irgendeinen Stoff auffängt, absorbieren läßt, so erhält man keinesfalls eine gewöhnliche, chemische Substanz; was man einfangen kann, ist lediglich negative Elektrizität. Man kommt so zu der Annahme, daß die β-Teilchen nichts anderes sind als freie Teilchen negativer Elektrizität, die nicht von gewöhnlichen chemischen Atomen oder Atomkomplexen getragen werden.

In dieser Annahme wird man bestärkt, wenn man die Kathoden- und β-Strahlen vergleicht mit Strahlungen, welche positive Elektrizität mit sich führen, insbesondere mit den schon erwähnten α-Strahlen radioaktiver Substanzen. Auch bei diesen handelt es sich um diskrete Teilchen, wie das „Szintillieren", das Funkeln eines von α-Strahlen getroffenen Diamanten oder Zinksulfidschirmes, und andere Erscheinungen beweisen; auch die α-Teilchen haben elektrische Ladung, die aufgefangen werden kann wie die der β-Teilchen. Während aber das Auffangen der α-Teilchen Heliumgas, also eine Ansammlung von Heliumatomen liefert, lassen sich β-Teilchen nicht zu einem solchen mit der Wage nachweisbaren Stoffe sammeln. Wir werden also vermuten, daß die β-Teilchen von viel feinerer Natur sind, sagen wir einmal viel leichter sind als die α-Teilchen, deren elektrische Ladung mit einem Heliumatom belastet ist.

Geschwindigkeit von negativen und positiven Partikelchen.

Dem entspricht es denn auch, daß bei β-Teilchen viel größere Geschwindigkeiten festgestellt werden als bei den viel schwereren, und darum weniger leicht beweglichen α-Teilchen; und es wird uns ganz plausibel erscheinen, daß die schnellen β-Teilchen der Radiumstrahlung ein viel größeres Durchdringungsvermögen haben als die α-Strahlen. Während ein Aluminiumblatt von $^1/_{20}$ mm Stärke die letzteren ganz zurückhält, ist ein wenigstens 100 mal stärkeres Aluminiumblech erforderlich, um die β-Strahlen völlig aufzuhalten.

Die Geschwindigkeit von Kathodenstrahlen, also von freien negativen Elektrizitätspartikelchen, ist von Wiechert auf direktem Wege nach einem allerdings komplizierten Verfahren festgestellt worden. Die Geschwindigkeit der von Goldstein entdeckten, von Wien, Stark, Thomson u. a. erforschten Kanalstrahlen, welche den (aus bewegten, positiv geladenen Heliumatomen bestehenden) α-Strahlen einigermaßen verwandt sind, konnte gleichfalls direkt bestimmt werden. Die Kanalstrahlen entstehen in besonderen, mit verdünnten Gasen gefüllten elektrischen Entladungsröhren. Sie führen im ganzen positive Elektrizität mit sich und bestehen aus bewegten positiven, neutralen und selbst negativen Atomen und Atomkomplexen von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Quecksilber oder irgendwelchen anderen Elementen.

Eine große Rolle spielen verschiedene indirekte Verfahren zur Bestimmung der Geschwindigkeit negativer und positiver Partikelchen. Ganz besonders wichtig sind die Methoden, welche auf den Wirkungen beruhen, die elektrische (elektrostatische) und magnetische Kräfte auf solche Partikelchen bzw. auf die aus ihnen bestehenden Strahlen ausüben. Man erhält so nicht nur die Geschwindigkeit der Teilchen, sondern auch das Verhältnis, in dem ihre Ladung zu ihrer Masse steht. Dabei ergeben sich sehr wesentliche Stützen der von uns entwickelten Auffassung vom Wesen der in Frage stehenden Strahlungen.

Beeinflussung der negativen und positiven Strahlen durch elektrische und magnetische Kräfte.

Wenn diese Strahlen aus bewegten, elektrisch geladenen Teilchen bestehen, so müssen sie durch elektrische Ladungen beeinflußt werden. In der Tat kann man sowohl Kathoden- und β-Teilchen, wie Kanal- und α-Teilchen durch elektrische Ladungen aus ihrer geradlinigen Bahn ablenken; auch die Art der so erzielten Bahnablenkung entspricht unserer Auffassung. Der Betrag der Ablenkung muß einmal abhängen von der Geschwindigkeit des Teilchens; je

schneller es fliegt, um so schwerer ist es abzulenken, wie ja auch eine schnellere Flintenkugel ihre Richtung energischer beibehält als ein langsameres Geschoß. Ferner muß die Ablenkung abhängen von der Ladung des Teilchens; denn auf dieser beruht ja die Möglichkeit, den Strahl durch elektrische Kräfte überhaupt zu beeinflussen. Endlich kommt auch die Masse des Teilchens in Betracht; die große Masse eines schweren fliegenden Steines wird durch irgendeine Kraft, sagen wir durch die des Windes, viel weniger beeinflußt als die kleine Masse eines leichten Staubkornes.

Wenn die in Frage stehenden Strahlungen elektrische Ladungen mit sich führen, so stellen sie einen elektrischen Strom dar. Sie müßten demnach auch durch magnetische Kräfte abgelenkt werden können, wie jeder elektrische Strom. In der Tat ergibt der Versuch eine Ablenkung unserer Strahlen durch magnetische Kräfte, die auch in ihrer besonderen Art unserer Hypothese entspricht. Auch hier hängt die Größe der Ablenkung ab von der Geschwindigkeit, sowie von Ladung und Masse der Teilchen.

Werden die Ablenkungen, die durch eine bekannte elektrische und eine ebenfalls in ihrer Größe bestimmte magnetische Kraft hervorgerufen werden, festgestellt, so kann einerseits die Geschwindigkeit der Teilchen, andererseits das Verhältnis von Ladung und Masse bei denselben bestimmt werden.

Wenn wir zunächst die Strahlen der radioaktiven Stoffe außer Betracht lassen, so ist das Ergebnis der mannigfachen Bestimmungen das folgende. Die Geschwindigkeit der (negativ elektrischen) Kathodenstrahlteilchen ist eine sehr große, sie beträgt $^1/_{10}$, ja $^1/_3$ der Lichtgeschwindigkeit. Die von Wien u. a. bestimmte Geschwindigkeit von Kanalstrahlteilchen ist weit kleiner; sie beträgt etwa $^1/_{10}$ oder $^1/_{50}$ der bei Kathodenstrahlen gefundenen Werte; eine direkte Bestimmung ergab 2510 km pro sec. Bei Kathodenstrahlen ist das Verhältnis der Ladung zur Masse etwa 1000mal kleiner als bei Kanalstrahlen. Bei den letzteren ist es etwa so groß wie bei den Ionen, die uns bei der elektrischen Zersetzung von Flüssigkeiten entgegentraten, oder wie bei den α-Teilchen radioaktiver Stoffe.

Verhältnis der Ladung zur Masse bei Kathoden- und Kanalstrahlen.

Darin dürfen wir offenbar wichtige Stützen unserer Annahmen erblicken. Die Kanalstrahlpartikelchen werden als Atome oder Atomkomplexe zu betrachten sein, die, sofern sie nicht unelektrisch sind, eine Ladung von dem Betrag eines oder einiger elektrischen Elementarquanten tragen, ebenso wie die Ionen in Flüssigkeiten oder die α-Teilchen. Da es verschiedene chemische Atome und Atomkomplexe gibt, die sich durch ihr Gewicht, ihre Masse unterscheiden, wird auch das Verhältnis von Ladung und Masse bei verschiedenen Kanalstrahlpartikelchen verschieden sein. Die Untersuchung bestätigt dies. Sie zeigt, daß in Kanalstrahlen Atome und Atomkomplexe von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Quecksilber und anderen Elementen vorkommen, deren Ladung gleich derjenigen von einem oder mehreren elektrolytischen Wasserstoffionen ist. In Kanalstrahlen kommen Wasserstoffteilchen vor, die mit den Wasserstoffionen, den elektrisch geladenen Wasserstoffatomen, gleichartig sind, welche uns bei der Besprechung der elektrischen Zersetzung von Flüssigkeiten entgegentraten.

Bei den negativen Kathodenstrahlpartikelchen zeigt sich, daß das Verhältnis von Ladung und Masse in weitestem Umfange unabhängig ist von den Entstehungsbedingungen, dem Ursprung und dem Medium der Strahlen; es kommt nicht darauf an, aus welchem Metall sie austreten, und in welchem Gas sie sich verbreiten. Handelte es sich um negativ geladene gewöhnliche chemische Atome oder Atomkomplexe, so müßte das Verhältnis von Ladung und Masse je nach der Art der Atome oder Atomkomplexe verschieden sein, wie das bei Kanalstrahlen der Fall ist. Ferner ist die Ladung im Verhältnis zur Masse bei Kathodenstrahlteilchen mehrere 1000 mal größer als bei Kanalstrahlteilchen oder Flüssigkeitsionen. Wenn die Kathodenstrahlteilchen die Massengröße, das Gewicht von Atomen hätten, so müßten sie also etwa 1000mal stärker elektrisch geladen sein als die positiv geladenen Teilchen, die wir kennen, als Kanalstrahlteilchen, α-Teilchen, Flüssigkeitsionen. Eine so enorme Ladung ist an sich wenig wahrscheinlich; wenn wir aber bedenken, daß die Kathodenstrahlteilchen gar keine chemischen Atome tragen, daß wir beim Einfangen derselben nur Elektrizität erhalten, daß sie viel schneller fliegen als die Kanalstrahlteilchen, kurz, daß sie weniger mit Masse beschwert zu sein scheinen, dann ergibt sich sehr leicht eine andere Vermutung. Wenn bei einem Kathodenstrahlteilchen die elektrische Ladung im Verhältnis zur Masse 1820 mal größer ist als bei einem Wasserstoffion (wie es in Flüssigkeiten und Kanalstrahlen sich findet), so mag das daran liegen, daß bei ersterem zwar nicht die Ladung größer, wohl aber die Masse 1820 mal kleiner ist als bei einem Wasserstoffion oder -atom.

Die Ladung eines Wasserstoffions ist positiv; wir sahen, daß Chlorionen eine gleich große negative Ladung führen und bezeichneten speziell diese negative Ladung als Elektron. Elektrische Quanta von dieser Größe traten uns immer wieder als unteilbare Einheiten entgegen. Nach unserer Überlegung dürfen wir nunmehr in den Kathodenstrahlpartikelchen solche negativen Ladungseinheiten, solche Elektronen, vermuten, die nicht mit chemischen Atomen beschwert sind, sondern nur eine Masse führen, die 1820 mal geringer ist als diejenige des leichtesten, des Wasserstoff-Atoms.

Wir dürfen freilich nicht vergessen, daß es eine Vermutung ist, wenn wir annehmen, daß die Ladung eines solchen negativen Teilchens gleich derjenigen des unteilbaren elektrischen Elementarquantums ist, das uns bei der Elektrolyse, den Nebeltröpfchen, den α-Teilchen entgegentrat; denn eine direkte Bestimmung jener negativen Ladung gibt es nicht. Wir werden daher zusehen müssen, ob sich weitere Gründe für unsere Vermutung finden lassen.

Die Ladung des Kathodenstrahlteilchens beträgt ein elektrisches Elementarquantum. Freie negative Elektronen.

Da ist folgendes Argument anzuführen. Man kann Kathodenstrahlen erzeugen, ohne einem Körper negative Elektrizität zuzuführen, indem man Lichtstrahlen oder die dem Licht verwandten, aber wirksameren ultravioletten Strahlen oder auch Röntgenstrahlen auf einen Körper treffen läßt. Befindet sich dieser innerhalb eines stark verdünnten Gases, so kommen die Kathodenstrahlen zu ungehinderter Ausbildung; allerdings pflegt ihre Geschwindigkeit relativ gering zu sein. Ist hingegen das den bestrahlten Körper umgebende Gas dichter, so stehen die Gasmoleküle einer vollen Entfaltung der Kathoden-

strahlen im Wege; die negativen Partikelchen vereinigen sich mit den Gasteilchen zu Ionen, belasten sich also mit einem oder mehreren gewöhnlichen Atomen, und dies behindert ihren freien Flug.

Die Licht-, ultravioletten und Röntgenstrahlen führen keine negative Elektrizität mit sich. Die negativen Ladungen der Kathodenstrahlteilchen, welche von dem etwa von Röntgenstrahlen getroffenen unelektrischen Körper ausgehen, müssen also aus diesem selbst stammen. Wenn aber ein unelektrischer (elektrisch neutraler) Körper negative Elektrizität abgibt, dann muß positive Elektrizität zurückbleiben. Nun sind in der Tat nicht nur negative, sondern auch positive Ladungen leicht nachweisbar, wenn der von Röntgenstrahlen getroffene Körper ein Gas ist. Läßt man in dem bestrahlten, etwas Wasserdampf enthaltenden Gase durch Ausdehnung desselben feine Nebeltröpfchen entstehen, so zeigen sich diese bei geringerem Expansionsgrad negativ geladen; bei stärkerer Volumvergrößerung des Gases finden sich auch positiv geladene Tröpfchen.

Die Ladung solcher Wasser- oder auch Öltröpfchen kann auf verschiedenem Wege bestimmt werden; davon war ja bereits die Rede. Sie entspricht dem schon aus den elektrolytischen Erscheinungen zu erschließenden und zu berechnenden elektrischen Elementarquantum oder einem ganzen Vielfachen dieses Quantums. So ergibt sich, daß in einem Gase unter dem Einfluß von Röntgenstrahlen negative und positive Ladungen vom Betrage jenes Elementarquantums auftreten. Daß manche Tröpfchen die doppelte, dreifache usw. Elektrizitätsmenge tragen, erklärt sich ungezwungen daraus, daß sie mehrere jener Ladungen vereinigt haben.

Wenn wir uns nun erinnern, daß ursprünglich aus einem von Röntgenstrahlen getroffenen Körper Kathodenstrahlteilchen hervortreten, die sich dann mit ungeladenen Gasteilchen vereinigen mögen, so ergibt sich, daß negative Ladungen im von Röntgenstrahlen beeinflußten Gase von Kathodenstrahlpartikelchen herrühren werden. Die Ladung der letzteren wird also die Größe eines elektrischen Elementarquantums haben, keinesfalls aber 1820 mal größer sein können; denn so stark geladene Tröpfchen findet man nie vor. Die positiven Ladungen aber werden dadurch entstehen, daß die Gasteilchen unter dem Einfluß der Röntgenstrahlung negative Kathodenstrahlpartikelchen verlieren; sie erscheinen dann positiv geladen, wie jeder vorher unelektrische Körper, dem negative Elektrizität (z. B. Influenzelektrizität) entnommen wurde, eine gleich große positive Ladung aufweist.

Es bliebe noch die Möglichkeit, daß die Kathodenstrahlpartikelchen teils die Ladung von einem, teils von mehreren Elementarquanten besäßen. Dies ist jedoch nicht wahrscheinlich. Wenn manche Tröpfchen bei den erwähnten Versuchen eine negative Ladung von mehreren Elementarquanten aufweisen, so erklärt sich dies, wie gesagt, daraus, daß sie mehrere der zahlreich vorhandenen negativen Partikelchen aufgenommen haben. Denn die Tröpfchen, welche mit mehreren Elementarquanten geladen sind, treten besonders dann auf, wenn die Röntgenbestrahlung recht kräftig, die Aussendung negativer Partikelchen dementsprechend reichlich ist (Thomson).

Wir dürfen also annehmen, daß die Kathodenstrahlteilchen freie, d. h. nicht mit Atomen belastete, negative Elementarquanta oder, um die Stoneysche Bezeichnung zu gebrauchen, Elektronen sind. Die Masse eines solchen Elektrons ist 1820 mal geringer als die eines Wasserstoffatoms.

Entstehung positiver Partikelchen. Fehlen freier positiver Elektronen.

Die positiven Partikelchen, welche uns begegnet sind, hatten stets eine weit größere Masse, die aus einem oder mehreren gewöhnlichen Atomen bestand. Solche Partikelchen mit der Ladung von ein, zwei usw. positiven Elementarquanten entstehen, wenn unelektrische (elektrisch neutrale) Atome oder Atomkomplexe ein, zwei oder mehr negative Elektronen verlieren. So können z. B. die Schwingungen des Lichtes oder der Röntgenstrahlung negative Elektronen aus den neutralen Körperteilchen herausreißen; auch bei stürmischen chemischen Reaktionen werden nach Haber negative Elektronen aus den neutralen Körperteilchen herausgeschleudert. Freie positive Elektronen, d. h. positive Elementarquanta, die nicht mit der Masse von Atomen belastet wären, sind bisher nicht festgestellt worden. (Das sog. Hallsche Phänomen tritt bei manchen Stoffen — Wismut, Gold — in umgekehrtem Sinne auf, was durch Annahme freier positiver Elektronen erklärt werden könnte. Aber man wird sich nicht entschließen können, allein um dieser Erscheinung willen, die auch eine andere Erklärung zuläßt, positive Elektronen anzunehmen.) Die positiven Strahlen, die Kanal- und α-Strahlen, weisen keine freien positiven Elektronen auf. Besonders spricht aber gegen die Existenz freier positiver Elektronen die Natur der sog. Anodenstrahlen. Wie vom negativ elektrischen Pol, von der „Kathode", im luftverdünnten Raume die negative Ladungen führenden Kathodenstrahlen ausgehen, so von einem in besonderer Weise hergerichteten positiven Pol, von der Anode, bei sehr starker Luftverdünnung die Anodenstrahlen, welche positive Ladungen führen. Diese leuchtenden Strahlen sind aber nicht sowohl den dunklen Kathodenstrahlen als den leuchtenden Kanalstrahlen wesensverwandt, obwohl man nach ihrer Entstehung vermuten sollte, daß sie in jeder Beziehung ein Gegenstück zu den Kathodenstrahlen bilden müßten. Die spektroskopische Untersuchung der Anodenstrahlen weist in ihnen die Atome der Metalle nach, die in der Anode enthalten sind (z. B. Natrium- oder Kaliumatome), während die Natur der Kathodenstrahlteilchen nicht von der chemischen Beschaffenheit der Kathode abhängt. Die Geschwindigkeit der Anodenstrahlpartikelchen ist eine relativ kleine, wie es bei den positiven Partikelchen zu sein pflegt. Das Verhältnis der Ladung zur Masse entspricht der Vermutung, daß es sich um gewöhnliche Atome handelt. Bestand die Anode aus einem Natriumsalz, so ergab sich die Masse eines Anodenstrahlpartikelchens, wenn man ihm die Ladung eines Elementarquantums zuschrieb, 22 mal so groß wie die des Wasserstoffatoms; das Natriumatom ist aber nach chemischer Bestimmung ungefähr 22 mal (in Wahrheit 23 mal) schwerer als das Wasserstoffatom.

Wir werden also nach alledem vermuten, daß es freie positive Elektronen nicht gibt, und daß positiv elektrische Partikelchen entstehen, indem neutrale Atome oder Atomkomplexe negative Elektronen abgeben. Natürlich gibt es auch negativ elektrische Atome und Atomkomplexe, z. B. in Flüssigkeiten und

Gasen. Da sie nicht durch Abgabe freier positiver Elektronen aus Atomen oder Atomkomplexen entstehen können, müssen sie durch Verbindung negativer Elektronen mit an sich elektrisch neutralen Atomen oder Atomkomplexen zustande kommen. —

Geschwindigkeit und Verhältnis von Ladung und Masse bei den β-Strahlteilchen.

Wir haben im Anfang dieses Abschnittes die Kathodenstrahlen und die β-Strahlen des Radiums als wesentlich gleichartig betrachtet. Beide führen negative Elektrizität, sind lichtlos, haben übereinstimmende Wirkungen. Darum liegt die Annahme ganz nahe, daß die β-Strahlteilchen mit den Kathodenstrahlpartikelchen, den freien Elektronen, identisch sind. Aber die β-Strahlen unterscheiden sich von den Kathodenstrahlen dadurch, daß sie besser Körper, z. B. Metallschichten, zu durchdringen vermögen und weniger stark durch elektrische und magnetische Kräfte abgelenkt werden. Das deutet darauf hin, daß die β-Strahlteilchen größere Geschwindigkeit haben als die Kathodenstrahlteilchen. In der Tat zeigen diejenigen Kathodenstrahlen, deren Teilchen am schnellsten fliegen, das größte Durchdringungsvermögen und die geringste Ablenkbarkeit durch elektrische und magnetische Kräfte; sie kommen also den β-Strahlen am nächsten.

Kaufmann konnte die Geschwindigkeit der β-Strahlteilchen bestimmen, indem er die Strahlen durch elektrische und magnetische Kräfte ablenkte; das gleiche Verfahren gibt (wie bei den Kathodenstrahlen) auch das Verhältnis von Ladung und Masse. Die langsamsten β-Strahlteilchen fliegen mit einer Geschwindigkeit von über 200 000 km pro sec. mehr als zweimal so schnell wie die schnellsten Kathodenstrahlteilchen; die schnellsten β-Teilchen aber kommen mit einer Geschwindigkeit von 285 300 km derjenigen des Lichtes nahe, das 300 000 km in der Sekunde durcheilt.

Die Annahme einer Identität der Kathodenstrahl- und β-Strahlteilchen scheint aber hinfällig zu werden, wenn wir die Werte ins Auge fassen, die für das Verhältnis der Ladung zur Masse erhalten wurden. Während dieser Wert bei den Kathodenstrahlen (fast) konstant ist, nimmt er bei den β-Strahlen mit wachsender Geschwindigkeit ab. Bei den langsamsten β-Strahlen, die aber immerhin, wie gesagt, mehr als zweimal schneller sind als die schnellsten gewöhnlichen Kathodenstrahlen, ist jenes Verhältnis bereits um ein Viertel kleiner als bei den Kathodenstrahlen; bei den schnellsten β-Strahlen ist dasselbe aber um mehr als die Hälfte kleiner als bei den Kathodenstrahlen.

Die β-Strahlteilchen haben also entweder eine kleinere Ladung oder eine größere Masse als die Kathodenstrahlteilchen, oder beides kommt zusammen. Da die Ladung der letzteren Partikelchen ein Elementarquantum darstellt, welches unteilbar zu sein scheint, ist die erstere Annahme von vornherein bedenklich. Wir ständen also vor der Vermutung, daß die β-Strahlteilchen, die schneller sind als die Kathodenstrahlpartikelchen, auch eine größere Masse haben, und daß unter den β-Strahlteilchen wiederum diejenigen die größte Masse haben, welche am schnellsten fliegen. Allgemein gilt also von den negativen, nicht mit Atomen belasteten Teilchen, daß sie um so schneller fliegen, je größer ihre Masse zu sein scheint.

Das ist ein zunächst recht seltsam anmutendes Ergebnis; denn unter gleichen Umständen erlangt sonst nicht der schwerere, sondern der leichtere, massenärmere Körper die größere Geschwindigkeit; dieselbe Pulverladung gibt einer leichten Kugel einen schnelleren Flug als einer schweren. Doch scheint es einen Ausweg aus der Schwierigkeit zu geben.

Mechanische und elektromagnetische Masse.

Jeder Körper setzt dem Bestreben, ihn in Bewegung zu versetzen, seine Bewegung zu beschleunigen, zu verlangsamen, aufzuhalten, seine Bewegungsrichtung zu ändern, einen Widerstand entgegen, die sog. Massenträgheit. Die Größe dieses Widerstandes gibt uns die mechanische Masse des Körpers; so ist es schwerer, einen massenreichen Güterzug in Bewegung zu versetzen oder zum Halten zu bringen, als ein massenarmes Fahrrad. Wenn nun ein Körper eine elektrische Ladung erhält, so wächst dadurch sein Widerstand gegen Bewegungsänderungen. Obgleich der geladene Körper auf der Wage nicht schwerer erscheint, hat doch sein Trägheitswiderstand zugenommen. Diese Zunahme beruht auf elektromagnetischen Kräften; wir bezeichnen den Zuwachs, der zum gewöhnlichen Trägheitswiderstand des Körpers, zur mechanischen Masse, infolge der elektrischen Ladung hinzukommt, darum als elektromagnetische Masse.

Daß die Elektrizität eine scheinbare, elektromagnetische Trägheit besitzt, tritt deutlich zutage beim Einsetzen und Aufhören elektrischer Ströme. Wird ein elektrischer Strom geschlossen, so steigt seine Stärke erst allmählich zum Höchstbetrage an. Es ist so, als ob die in Strömung versetzte Elektrizitätsmenge erst allmählich in volle Bewegung komme, ebenso wie ein Zug von Güterwagen. Und bei Stromöffnung verschwindet die Elektrizitätsbewegung nicht augenblicklich, wie auch ein fahrender Güterzug nicht sofort stille steht, wenn die Lokomotive zu ziehen aufhört.

Diese bei elektrischen Strömen als „Selbstinduktion“ in Erscheinung tretende elektromagnetische Trägheit elektrischer Ladungen wird nun auch bei den geladenen Partikelchen der Kathoden- und β-Strahlen sich geltend machen, wenn dieselben durch elektrische und magnetische Kräfte aus ihrer Bewegungsrichtung abgelenkt werden. Mit anderen Worten, die Masse unserer Partikelchen wird z. T. keine echte mechanische, sondern eine elektromagnetische sein. (Man muß dabei allerdings voraussetzen — was bezweifelt worden ist —, daß ein fliegendes Elektron jener Strahlungen bezüglich elektromagnetischer Wirkungen einem gewöhnlichen elektrischen Strom verglichen werden kann.)

Die elektromagnetischen Kräfte, welche die elektromagnetische Masse bedingen, pflanzen sich mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum fort. Darum ist es für den elektromagnetischen Trägheitswiderstand einer bewegten Ladung nicht gleichgültig, ob sie selbst ruht bzw. geringe Geschwindigkeit hat, oder ob ihre eigene Geschwindigkeit groß ist und der Lichtgeschwindigkeit mehr oder weniger nahe kommt. Die rechnerische Untersuchung zeigt, daß die elektromagnetische Masse mit der Geschwindigkeit der Ladung wächst. Dies Wachstum ist relativ klein, solange die Geschwindigkeit der Ladung bedeutend hinter derjenigen des Lichtes zurückbleibt; es wird aber stark, wenn die erstere der letzteren nahekommt.

Nun verstehen wir, warum die Masse negativer, atomfreier Patikelchen um so größer erscheint, je schneller die Teilchen fliegen; die elektromagnetische Masse der negativen Ladungen wächst eben mit der Geschwindigkeit. Bei Kathodenstrahlen kommt die Verschiedenheit der elektromagnetischen Masse langsamerer und schnellerer Teilchen nicht sehr in Betracht, weil ihre Geschwindigkeit weit genug hinter der Lichtgeschwindigkeit zurückbleibt. Bei den schnelleren β-Strahlteilchen, die der Lichtgeschwindigkeit viel näher kommen, macht sich das Wachstum der elektromagnetischen Masse mit der Geschwindigkeit der Teilchen stark geltend. Immerhin konnte Starke auch bei Kathodenstrahlen den Einfluß der Geschwindigkeit auf das Verhältnis von Ladung und Masse nachweisen.

Abraham hat zuerst unter gewissen Voraussetzungen (Annahme starrer Kugelform der Elektronen) eine Formel für die „transversale" elektromagnetische Masse gegeben, d. h. für den elektromagnetischen Trägheitswiderstand gegen Kräfte, die senkrecht zur Bahn des Elektrons wirken. Bei den oben erwähnten Kaufmannschen Untersuchungen handelte es sich um solche Kräfte. Die Formel scheint den Beobachtungen zu genügen. Nach derselben würde die elektromagnetische Masse, d. h. der Trägheitswiderstand der Teilchen, unendlich groß werden, wenn sie Lichtgeschwindigkeit erlangten. Lorentz lieferte von anderen Voraussetzungen aus (Abplattung des kugelförmigen Elektrons durch Bewegung) eine einfachere Formel. Wiederum andere Formeln gaben J. J. Thomson und Bucherer. Alle Formeln entsprechen den bisherigen Beobachtungen derart, daß eine Entscheidung zwischen ihnen noch nicht möglich war.

Wir werden nunmehr annehmen dürfen, daß Kathodenstrahlteilchen und β-Strahlteilchen identisch sind, und daß letztere nur darum eine größere Masse zu haben scheinen als erstere, weil sie schneller fliegen.

Freie Elektronen haben keine mechanische Masse.

Eine weitere Vermutung liegt dann ziemlich nahe. Die β-Teilchen enthalten keine gewöhnlichen Atome oder Atomkomplexe, keine Partikelchen von Wasserstoff, Gold usw., von gewöhnlichen chemischen Stoffen. Wenn wir sie auffangen, erhalten wir nur Elektrizität. Insofern erscheinen sie als stofflos, wenn man unter einem Stoff eine chemische Substanz im gewöhnlichen Sinne versteht. Sind die β-Teilchen, die freien Elektronen, aber in diesem Sinne stofflos, so liegt der Gedanke nicht fern, daß sie, als reine Elektrizitätsteilchen, auch ohne Masse im gewöhnlichen, mechanischen Sinne sein werden. Vielleicht haben die β-Teilchen nur scheinbar eine Masse; vielleicht ist ihr Trägheitswiderstand rein elektromagnetisch bedingt.

Bei den Experimenten zur Bestimmung des Verhältnisses von Ladung und Masse kommt natürlich der ganze Trägheitswiderstand gegen Bewegungsänderung, speziell gegen Ablenkung, in Betracht. Dieser gibt die scheinbare Masse; sie muß sich aus der mechanischen und der elektromagnetischen Masse zusammensetzen. Zieht man daneben die Abrahamsche Formel der elektromagnetischen Masse in Betracht, so ergibt sich in der Tat, daß die mechanische Masse entweder gleich Null oder doch sehr klein sein muß im Verhältnis zur elektromagnetischen.

In den verschiedenen Formeln für die elektromagnetische Masse kommt auch der Halbmesser des als kugelförmig vorausgesetzten Elektrons vor. Dieser kann so berechnet werden; er mag 0,000 000 000 000 19 cm betragen, eine Größe, die fast hunderttausendmal kleiner sein mag als der Radius des Wassermoleküls. Das Elektron würde sich nach dieser Größenangabe zum Wassermolekül so verhalten wie ein Korn von 1 mm Dicke zu einem Hügel von fast 100 m Durchmesser; das Wassermolekül aber mag sich in bezug auf seine Größe zu einem Apfel etwa so verhalten wie der Apfel zum Erdball.

Dies wäre also die ungefähre Größe jener nicht von träger Materie belasteten Elektrizitätsteilchen, die nur darum eine scheinbare Masse, einen Trägheitswiderstand gegen Bewegungsänderung zeigen, weil sie eben Elektrizitätsquanten darstellen und als solche elektromagnetische Kräfte ausüben können. Die freien Elektronen wären letzte, raumerfüllende Elektrizitätsteilchen ohne besonderen Träger. Die Elektrizität erscheint damit als etwas Körperliches, ähnlich wie nach der alten Fluidalehre; sie erhält zugleich eine atomistische Struktur.

Zum Schluß sei noch einmal betont, daß es sich, insbesondere bei den zuletzt angeführten Annahmen, um kühne Hypothesen handelt, über die das letzte Wort noch nicht gesprochen ist. Vielleicht aber sind sie berufen, unsere Anschauungen vom Wesen der Materie zu vertiefen.

Die Struktur der Atome und ihre elektrischen Bausteine. Ehe wir versuchen, von elektronentheoretischen Vorstellungen aus tiefer in das Wesen und die Struktur der Materie einzudringen, als die frühere Molekular- und Atomlehre es ermöglichte, erwähnen wir kurz auf anderen Gebieten sich ergebende Hinweise darauf, daß die Atome noch nicht die letzten, schlechthin unteilbaren Bausteine der Körper darstellen.

Sieben Jahre nach der erfolgreichen Einführung der Atomlehre in die Chemie stellte Prout (1815) die vielbeachtete Hypothese auf, daß die Atome aller Elemente aus Wasserstoffatomen aufgebaut seien; Wasserstoff hat ja das kleinste Atomgewicht. Die Atomgewichte aller übrigen Elemente müßten demnach ganze Vielfache des Atomgewichtes des Wasserstoffes sein. Berzelius wies alsbald darauf hin, daß bei Blei diese Folgerung nicht zutreffe. Durch Stas' genauere Atomgewichtsbestimmungen wurde die Proutsche Hypothese endgültig widerlegt.

Das periodische System.

Neue Beobachtungstatsachen aber ließen die Frage nach dem Aufbau der Atome nicht dauernd zur Ruhe kommen. Die Atomgewichte mancher chemisch und physikalisch verwandter Elemente stehen in ähnlichen Beziehungen zueinander, wie die Molekulargewichte mancher Kohlenstoffverbindungen, die gleichfalls physikalische und chemische Analogien aufweisen. Die kleine Tabelle gibt einen Beleg dafür.

Elemente	Atomgewichte	Verbindungen	Molekulargewichte
Lithium	7	Methylalkohol	32
(Differenz	16)	(Differenz	14)
Natrium	23	Äthylalkohol	46
(Differenz	16)	(Differenz	14)
Kalium	39	Propylalkohol	60

Bei den angeführten Verbindungen erklären sich die Regelmäßigkeiten bezüglich der Differenz der Molekulargewichte und die Analogien im Verhalten der Stoffe daraus, daß die Moleküle derselben eine verwandte Struktur haben. Man wird daher vermuten, daß sich auch in den analogen Beziehungen zwischen den angeführten Elementen eine Verwandtschaft in der Struktur ihrer Atome verrät. Das setzt selbstverständlich voraus, daß, wie die Moleküle, so auch die Atome eine innere Struktur besitzen.

Solche und ähnliche Beziehungen zwischen den Atomgewichten, sowie den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Elemente (z. B. dem spezifischen Gewicht, der Dehnbarkeit, Schmelzbarkeit, Flüchtigkeit, spezifischen Wärme, Wertigkeit usw.) treten nicht nur vereinzelt auf. Doebereiner hatte als erster derartige Gruppen von je drei Elementen zusammengeordnet. Newlands und Lothar Meyer und Mendelejeff gaben dann Anordnungen aller Elemente, aus denen der Zusammenhang von Beziehungen zwischen den Atomgewichten und solchen zwischen den anderen Eigenschaften der Stoffe deutlich hervorgeht. Ordnet man die Elemente nach steigendem Atomgewicht, so ergibt sich, daß in ihrer Reihe nach gewissen Intervallen (Perioden) immer wieder verwandte Grundstoffe angetroffen werden. So kommt man zu dem Meyer-Mendelejeffschen periodischen System. Dies System wies und weist noch heute Lücken auf, die durch noch unbekannte Elemente zu füllen wären. Auf Grund desselben konnten Eigenschaften einiger unbekannter Grundstoffe (Gallium, Germanium und Scandium) von Mendelejeff vorausgesagt werden; als diese Stoffe nachträglich entdeckt und untersucht wurden, bewährten sich die Prophezeiungen im wesentlichen. Ferner gab das System Anlaß zur Korrektur einiger Atomgewichte, die nicht in dasselbe passen wollten. Auch die neuentdeckten radioaktiven Elemente hat man ihm einordnen können. Obgleich noch gegenwärtig gewisse Schwierigkeiten für die periodische Klassifikation der Elemente oder ihrer Atome bestehen — die Wasserstoff, Jod, Tellur, Kalium, Argon und andere Stoffe betreffen —, so bleibt doch sicher, daß die verschiedenen Atome nicht beziehungslos nebeneinander stehen. Es scheint sogar, daß das periodische System an Bedeutung ungemein gewinnt; die Stellung eines Elementes oder Atomes in dieser Anordnung wird vielleicht zum grundlegenden Charakteristikum desselben werden und als solches wichtiger werden als das Atomgewicht. Wenn die Atome aber in ihrer Gesamtheit ein einheitliches System bilden, so liegt der Gedanke nahe, daß sie aus einer oder mehreren gemeinsamen Ursubstanzen, aus gemeinsamen Urteilchen aufgebaut sind, und daß die Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten zwischen ihnen auf Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten im Aufbau aus jenen Urteilchen beruhen.

Gasspektrum und Aufbau der Atome.

Besonders eindringlich wies die Untersuchung von Gas- oder Dampfspektren die Physiker darauf hin, daß Atome einen komplizierten inneren Bau haben müssen. Um dies zu verdeutlichen, müssen wir etwas vorwegnehmen. Töne werden bekanntlich von schwingenden Körpern ausgesandt. Ein Klavier, das viele verschiedene Töne aussenden kann, muß einen komplizierten Bau haben. Nach der sehr gut begründeten elektromagnetischen Lichttheorie gehen

Lichtwellen immer von schwingenden Elektrizitätsmengen aus. Die Qualität des Lichtes, welches von einem leuchtenden Gase ausgesandt wird, hängt vor allem von der Art der Gasmoleküle und -atome ab. Diese müssen also jene Schwingungen bestimmen; die schwingenden Elektrizitätsmengen müssen mithin doch wohl an oder in den Molekülen oder Atomen sich befinden; bei den „einatomigen“ Gasen, deren Moleküle aus einem einzelnen Atom bestehen, müssen die oszillierenden Elektrizitätsmengen an oder im Atom gesucht werden. Nun geben auch einatomige Gase komplizierte Spektren, d. h. sie senden sehr verschiedene Arten Licht aus, wie ein Klavier, auf dem zahlreiche Tasten niedergedrückt werden, viele Töne aussendet. Wie nun das Klavier kompliziert gebaut sein muß, zahlreiche Saiten enthalten muß, um viele Töne aussenden zu können, so muß auch ein Atom kompliziert gebaut sein und wohl zahlreiche elektrische Ladungen enthalten, um viele verschiedene elektrische Schwingungen zu ermöglichen und so zahlreiche Lichtarten aussenden zu können. Die Betrachtung des Eisenspektrums hat Rowland zu dem Ausspruch veranlaßt, ein Eisenatom müsse komplizierter gebaut sein als ein Steinway-Flügel.

Zeemaneffekt und Starkeffekt. Elektronen an oder in den Atomen.

Wir haben bei Besprechung der Kathoden- usw.- Strahlen darauf hingewiesen, daß bewegte elektrische Ladungen von magnetischen und elektrischen Kräften beeinflußt werden. Wenn nun die Lichtaussendung auf Schwingungsbewegungen elektrischer Ladungen in den Atomen beruht, so darf man vermuten, daß magnetische und elektrische Kräfte auch diese Bewegungen und damit die Lichtaussendung eines Körpers beeinflussen werden. Schon Faraday hatte sich bemüht, einen solchen Einfluß magnetischer Kräfte festzustellen. Dies gelang jedoch erst, als Zeeman 1896 vollkommenere Hilfsmittel zur Anwendung brachte. Kürzlich konnte J. Stark auch den Einfluß elektrischer Kräfte auf die Lichtaussendung eines leuchtenden Gases nachweisen. Diese Feststellungen von Zeeman und Stark bestätigen die Annahme, daß die Lichtstrahlung von in den Teilchen der leuchtenden Stoffe schwingenden elektrischen Ladungen herrührt.

Die Einzelheiten der von Zeeman entdeckten Erscheinung, des sog. Zemaneffektes, entsprechen der Annahme, daß an oder in den Atomen zwar negative, nicht aber positive Ladungen schwingen. So führt uns der Zeemaneffekt, wie auch der theoretische Ausbau der elektromagnetischen Lichtauffassung durch Lorentz, auf die Elektronentheorie zurück. Wir sind bereits oben zu der Annahme gelangt, daß Atome freie negative Ladungen, Elektronen, aussenden können, und daß dann positiv elektrische Atome, positive Ionen, zurückbleiben. Nun stoßen wir hier auf die Anschauung, daß an oder in den Atomen bewegliche negative Ladungen sich befinden. Da ein leuchtender Körper für gewöhnlich unelektrisch erscheint, müssen in ihm auch positive Ladungen enthalten sein, die jene negativen nach außen hin kompensieren. Wir kommen so zu der Anschauung, daß die Atome leichter bewegliche negative und weniger bewegliche positive Ladungen enthalten; wenigstens scheinen die letzteren an den Schwingungsbewegungen, die das Licht aussenden, nicht beteiligt zu sein.

Wir haben schon früher gesehen, daß negative Ladungen sich anders ver-

halten als positive, daß erstere vielfach frei, letztere aber stets an Atome gebunden erscheinen.

Da neutrale Körperteilchen negative, freie Elektronen aussenden können (sie tun dies z. B. unter dem Einfluß von Röntgenstrahlen), werden wir vermuten, daß Elektronen in ihnen enthalten sind, und daß dieselben identisch sind mit den leicht beweglichen negativen Ladungen, die der Zeemaneffekt an oder in den Atomen anzunehmen veranlaßt. Die Messung des Zeemaneffektes erlaubt, das Verhältnis von Ladung und Masse bei den lichtaussendenden elektrischen Teilchen zu bestimmen, jenes Verhältnis, das auch bei Kathodenstrahl- und β-Strahlteilchen festgestellt werden konnte. Das Verhältnis ist beim Zeemaneffekt ebenso groß wie bei den Kathodenstrahlen, zuweilen freilich etwas größer. Immerhin kommt es doch dem für freie Elektronen erhaltenen Werte so nahe, daß wir annehmen dürfen, daß die vom Zeemaneffekt geforderten Ladungen mit jenen Elektronen identisch sind. Wir wissen ja, daß die scheinbare Masse eines Elektrons, und damit auch das Verhältnis von Ladung und Masse, keine konstante Größe ist.

Die Radioaktivität.

Die Hypothese, daß an oder in Atomen negative Elektronen vorhanden sind, wird gestützt durch die Untersuchung der Radioaktivität. Diese wurde von Becquerel bei Uranverbindungen entdeckt, zeigt sich aber in ungemein viel stärkerem Maße bei den neuen Elementen Radium (1898) und Polonium, die durch Herrn und Frau Curie hergestellt wurden. Inzwischen sind noch zahlreiche andere Substanzen entdeckt worden, welche radioaktiv sind, d. h. ohne äußere Ursache Strahlen verschiedener Art aussenden, nämlich die schon oft erwähnten α- und β-Strahlen, sowie γ-Strahlen, die als stark durchdringungsfähige Röntgenstrahlen aufzufassen sind. Die sogenannten δ-Strahlen, welche Kathodenstrahlen von verhältnismäßig recht geringer Geschwindigkeit darstellen, können hier außer Betracht bleiben. Übrigens senden nur drei von den etwa 35 heute bekannten radioaktiven Stoffen sowohl α- wie β-Strahlen aus.

Schon beim Uran wurde festgestellt, daß alle seine Verbindungen radioaktiv sind und zwar in einem Grade, der ihrem Urangehalt, also der Zahl der in ihnen enthaltenen Uranatome, entspricht. Die Radioaktivität kommt demnach offenbar den Atomen der „aktiven" Elemente zu; denn diese bleiben eben nach der üblichen molekular- und atomtheoretischen Auffassung in den verschiedenen Verbindungen desselben Elements dieselben. (Wir können geradezu das Ergebnis, daß die radioaktiven Eigenschaften eines Elements unabhängig davon sind, ob und wie seine Atome mit anderen Atomen zu Molekülen verbunden sind, als eine Bestätigung der Ansicht betrachten, daß die Atome beim Eingehen in Moleküle sich nicht allzusehr ändern, sondern ihre Individualität bewahren. Diese Ansicht harmoniert ferner mit der Erfahrung, daß die Fähigkeit eines Stoffes, α-, β- und γ-Strahlen den Weg zu versperren, durch die in ihm enthaltenen Atome bestimmt ist, unabhängig davon, ob und wie diese zu Molekülen verbunden sind; die Atome verhalten sich also gegen solche Strahlen stets gleich, in welche Moleküle sie auch eingefügt sein mögen.)

Demnach würden die Atome radioaktiver Stoffe die β-Teilchen, die nega-

tiven Elektronen, aussenden; diese Elektrizitätsteilchen werden also wohl aus den Atomen stammen.

Aber auch die α-Teilchen, d. h. positiv elektrisch geladene Heliumatome, müssen aus den Atomen des Urans oder des Radiums hervorgehen. Das ist ein Ergebnis von größter Bedeutung. Aus einem Element geht ein anderes hervor; die Atome radioaktiver Stoffe lassen andere Atome aus sich hervorgehen.

Damit wird die Auffassung hinfällig, daß chemische Elemente nicht-umwandelbare Urstoffe darstellen, Ursubstanzen, deren eine nicht aus einer anderen entstehen und nicht in eine andere sich umwandeln kann. Wir kommen zu der Annahme, daß es Atome gibt, die andere Atome abgeben können, wobei sie selbst natürlich nicht unverändert fortbestehen können.

Rutherfords Zerfallstheorie.

Man könnte einwenden, jene radioaktiven Stoffe seien gar keine Elemente, sondern Verbindungen; die vermeintlichen Radiumatome wären demnach Atomkomplexe, Moleküle, die Heliumatome einschlössen. Doch ist diese Auffassung nicht durchführbar. Man kennt radioaktive Substanzen (z. B. Uran), die ganz unzweifelhaft als Elemente zu bezeichnen sind, weil sie auf chemischem Wege ebensowenig zerlegt werden können wie Gold oder Silber, weil sie ihre eigenen Spektren haben ganz wie andere Elemente.

Daß die Entstehung eines neuen Elementes aus einem radioaktiven Stoff einen anderen Vorgang darstellt wie eine chemische Zersetzung, durch die ein Element aus einer Verbindung abgeschieden wird, zeigt sich auch darin, daß der radioaktive Prozeß von der Temperatur unabhängig ist, während der chemische Zersetzungsvorgang von der Temperatur erheblich beeinflußt wird. Ferner ist die Wärmeentwicklung bei radioaktiven Vorgängen um das Millionfache größer als bei den heftigsten chemischen Umsetzungen.

Wie es Moleküle gibt, die sehr leicht in kleinere Bruchstücke, kleinere Moleküle oder Atome zerfallen, so gibt es also offenbar auch Atome, die in kleinere Bruchstücke, in kleinere Atome und auch freie Elektronen zerfallen; und zwar vollzieht sich dieser Zerfall der radioaktiven Atome spontan, ohne besondere äußere Einwirkung. Das ist die Rutherford-Soddysche Theorie der radioaktiven Erscheinungen (1902), zu der diese in der Tat hindrängen.

Die Untersuchung des radioaktiven Thoriums zeigt, daß aus ihm nicht nur α-Teilchen, also Heliumatome, neu entstehen, sondern daß noch eine zweite, und zwar gleichfalls radioaktive Substanz, das Thorium-X, gebildet wird. So ergibt sich die Auffassung, daß die Thoriumatome eine labile, leicht aus inneren Gründen zerfallende Struktur besitzen; die Heliumatome und die Thorium-X-Atome sind Bruchstücke der zerfallenen Thoriumatome. Die Thorium-X-Atome sind wiederum radioaktiv, von unstabiler Struktur; die Heliumatome dagegen sind stabil. Aber auch sie müssen noch eine nicht ganz einfache innere Struktur besitzen; sonst könnten sie nicht vielerlei Lichtarten aussenden, kein zusammengesetztes Spektrum (mit ca. 100 bestimmten Linien) liefern.

Umwandlungsreihen radioaktiver Atome.

In Wirklichkeit vollzieht sich die Umwandlung von Thorium in Thorium-X nicht direkt; aus dem Thorium entsteht zunächst eine erste Substanz, aus dieser eine zweite, aus dieser eine dritte, und aus der dritten Substanz, aus Radio-

thorium, bildet sich neben α-Teilchen Thorium-X. Ähnliche Reihen von Umwandlungen vollziehen sich bei anderen aktiven Stoffen. Das Radiumatom zerfällt in ein Heliumatom und ein Atom eines radioaktiven Gases von hohem Atomgewicht; letzteres ist die bei — 150^0 sich verflüssigende Radiumemanation. Ihr Atom zerfällt ziemlich schnell weiter, wiederum unter Abgabe eines α-Teilchens.

Die radioaktiven Substanzen lassen sich also in Reihen anordnen, derart daß aus der in der Reihe an erster Stelle stehenden Substanz die an zweiter Stelle stehende, aus dieser eine dritte entsteht usw. Diese Umwandlungen vollziehen sich unter Abgabe von α-Teilchen (also von leichten Atomen — die Heliumatome sind nächst den Wasserstoffatomen die leichtesten —) oder auch von β-Teilchen. Gibt bei einer Umwandlung ein radioaktives Atom ein Heliumatom ab, so muß ersteres um das Atomgewicht des Heliums (= 4, Wasserstoffatom = 1 gesetzt) leichter werden; dagegen kann die Abgabe eines oder einiger β-Teilchen das Atomgewicht nicht merklich beeinflussen; denn die scheinbare Masse eines β-Teilchens ist fast 2000 mal kleiner als die eines Wasserstoffatomes. Manche Umwandlungen scheinen sich zu vollziehen, ohne daß Strahlen irgendwelcher Art, ohne daß α- oder β-Teilchen ausgesandt werden (?).

Man versteht leicht, daß der innere Aufbau eines Atoms sich erheblich ändern kann, wenn es ein leichtes Atom oder auch ein über elektrische Kräfte verfügendes Elektron aussendet; aber Änderungen der Atomstruktur sind vielleicht auch möglich, ohne daß dabei nach außen etwas verloren geht. Wir finden diesen Fall möglicherweise vor bei der Umwandlung von Mesothorium 1 in Mesothorium 2 und von Aktinium in Radioaktinium.

Die Umwandlungen müssen weitergehen, bis Atome entstehen, die stabil sind. Es scheint, daß aus dem Radium nach einer Reihe von Umwandlungen schließlich das Blei entsteht. Aber auch das Radium selbst muß, da es fortwährend zerfällt, wohl aus einer anderen Substanz neu entstehen; es scheint, daß an der Spitze der Reihe von Substanzen, von denen die eine stets sich in die folgende umwandelt, und die Radium, Radiumemanation und Polonium enthält und vermutlich mit Blei endigt, das nur recht schwach aktive, nur sehr langsam zerfallende Uran steht.

Neben dieser Reihe von sich ineinander umwandelnden Stoffen kennt man noch zwei andere Reihen, an deren Spitze Thorium und Aktinium stehen. Das letztere stammt wohl vom Uran ab. Eines der Elemente der Uran-Radiumreihe scheint zwei Umwandlungen zuzulassen, deren eine Aktinium liefert. Die Aktiniumreihe würde also einen Nebenzweig der Uran-Radiumreihe bilden. Gabelungen von Umwandlungsreihen scheinen vorzukommen. Vielleicht stammt auch das Thorium vom Uran ab; möglicherweise lassen sich also alle radioaktiven Substanzen in einen gemeinsamen Stammbaum einordnen. Immerhin ist die Abstammung des Thoriums vom Uran noch weniger gesichert.

Die schnell zerfallenden Stoffe können sich nicht gut in größeren Mengen ansammeln; sie verschwinden, wie sie entstehen. So erklärt sich die Seltenheit der stark radioaktiven Substanzen. Schnelligkeit des Zerfalls ist Bedingung

für ein starkes Hervortreten der Zerfallserscheinungen, der ausgesandten Strahlungen. Es bestehen da ungeheure Unterschiede. Man ist in der Lage gewesen, die durchschnittliche Zeit zu bestimmen, die ein unstabiles Atom bis zu seinem Zusammenbruch verlebt. Diese mittlere Lebensdauer beträgt z. B. bei Aktinium-A nur $^3/_{1000}$ Sekunden; seine Atome verschwinden also fast genau in dem Moment, in dem sie entstehen. Die Uranatome aber erhalten sich durchschnittlich 4200 Millionen Jahre, die des Thors gar 20000 Millionen Jahre. Zwischen solchen Extremen aber gibt es die mannigfachsten Zwischenstufen, Lebensdauern von Sekunden, Minuten, Stunden, Tagen, Jahren, Jahrhunderten und Jahrtausenden. Die Atome verschiedener Substanzen sind also in äußerst verschiedenem Grade unstabil.

Radioaktive und inaktive Stoffe. Langsame Umwandlung scheinbar stabiler Atome?

Das legt nun eine wichtige Vermutung nahe. Möglicherweise gibt es sich umwandelnde Elemente, deren Atome noch weniger labil sind, eine noch längere Lebensdauer haben als diejenigen des Urans und Thoriums. Die überaus langsamen Umwandlungen und die damit verbundenen Strahlungen könnten unserer Beobachtung entgehen. Die Strahlungen könnten ja auch fehlen oder eine zu geringe Geschwindigkeit haben, um sich geltend zu machen. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die α-Teilchen nicht mehr die Wirkungen ausüben, die zu ihrem Nachweis dienen, wenn ihre Geschwindigkeit auf $^2/_5$ des Wertes heruntergegangen ist, der ihnen beim Verlassen von Radium-C zukommt; und dieses sendet von allen Radiumprodukten die schnellsten α-Strahlen aus.

Es ergibt sich so die Hypothese, daß auch die scheinbar unveränderlichen und strahlenlosen Elemente zum Teil oder allesamt sich langsam umwandeln oder radioaktiv sind. Man hat z. B. vermutet, daß das Blei, welches als Endprodukt der Uran-Radium-Umwandlungsreihe angesehen wird, diese Reihe nicht beschließt, sondern sich ganz langsam weiter umwandelt, und daß die Reihe etwa bis zum Silber und weiter führen mag.

Manche Beobachtungen (von J. J. Thomson u. a.) scheinen sogar eine schwache Radioaktivität bei „inaktiven" Stoffen direkt zu verraten; die Ladung eines feinen Elektroskopes wird von dem Material des Behälters in einer Weise beeinflußt, die auf die verschiedene Aktivität verschiedener Materialien hindeutet. Es scheint, daß bei allen Körpern eine schwache Aktivität nachweisbar ist, doch könnte diese durch Spuren von stärker aktiven Stoffen vorgetäuscht sein. Kalium und Rubidium können als aktiv gelten; sie senden Strahlen aus, jedoch ist ihre Umwandlung noch nicht festgestellt.

Unsere gewöhnlichen, alten, „inaktiven" oder wenig aktiven Elemente wären also eine Elite aus der Gesamtheit aller Grundstoffe, die gegenwärtig existieren oder früher existiert haben mögen; sie wären diejenigen Elemente, die sich nur sehr langsam umwandeln, deren Atome relativ am stabilsten sind, ohne darum absolut stabil sein zu müssen. Kein Wunder, daß diese stabilsten Elemente den Chemikern am ersten begegneten; die weniger stabilen Stoffe sind eben wegen ihres beständigen, relativ schnellen Zerfalles relativ selten.

Die ausgesprochen radioaktiven Atome sind zugleich die schwersten.

Es erscheint ferner verständlich, wenn gerade die Elemente, welche die höchsten Atomgewichte, also wohl auch die am kompliziertesten gebauten, aus den meisten Bausteinen bestehenden Atome besitzen, radioaktiv sind, d. h. Zerfallserscheinungen zeigen. Ein hoher Turm stürzt leichter ein als ein niedriger. Freilich, die aktiven Atome stürzen, soweit wir die Verhältnisse genauer verfolgen können, nicht ganz in sich zusammen, sondern es lösen sich nur kleine Bruchstücke von ihnen ab. Das Radiumatom ist mehr als fünfzigmal schwerer als das Heliumatom, welches von ihm sich trennt. Von einem großen Gebäude lösen sich aber auch unter gleichen Umständen häufiger kleine Bruchstücke los als von einem kleinen. Richtiger erscheint es wohl, die schweren radioaktiven Atome mit komplizierten Mechanismen, die leichteren inaktiven Atome mit einfacheren Maschinerien zu vergleichen und darauf hinzuweisen, daß in einer komplizierten Maschine leichter eine Störung entsteht als in einer einfacheren. Wir wissen ja bereits aus der Elektronentheorie des Leuchtens und des Zeemaneffektes, daß die Atome nicht starre Gebäude sind, daß zu ihnen lebhaft schwingende oder kreisende negative Ladungen gehören. Die Stabilität eines Atoms ist also nicht die eines starren, bewegungslosen Gefüges, sondern eher derjenigen unseres Sonnensystems vergleichbar, in welchem ja auch allerhand „Störungen" durch die Wechselwirkung der zahlreichen Baueinheiten auftreten. Mit der Komplikation eines solchen Systems wächst die Möglichkeit von Störungen; je häufiger diese sind, um so leichter kann es vorkommen, daß sie zu kleinen Katastrophen führen, bei denen Teile des Systems aus ihm sich entfernen. So können in der Tat an unsere Sonne gefesselte, „periodische" Kometen durch Störungen von ihr losgerissen, aus unserem System entfernt werden.

Jedenfalls sind die Elemente, die die schwersten Atome haben, Uran, Thorium, Radium usw., allesamt aktiv, und alle (erheblich) radioaktiven Stoffe haben — soweit Bestimmungen vorliegen — höhere Atomgewichte als die inaktiven Körper. Das Uranatom, das schwerste von allen, kann eine Reihe von Bruchstücken abgeben, zahlreiche Umwandlungen durchmachen, ehe es zu einem inaktiven Atom, etwa zu dem immer noch recht schweren Bleiatom wird.

Übrigens ist nicht gerade das schwerste Atom, das Uranatom, das radioaktivste oder unstabilste. Die (allerdings nur wenig) leichteren Radium- und Radiumemanation-Atome zerfallen leichter. Natürlich braucht die Labilität des Atombaues nicht genau seiner Zusammengesetztheit zu entsprechen.

Ursache der Atomumwandlung. Der innere Bewegungszustand des Atoms.

Wir kamen eben darauf zurück, daß zu den Atomen schwingende Elektronen gehören. Dieser Umstand erklärt (nach Lodge), daß Atome nach Verlauf einer gewissen Zeit aus dem inneren Gleichgewicht kommen und schrittweise zerfallen können. Die schwingenden Elektronen senden elektromagnetische Wellen aus (die bei geeigneter Schwingungszahl als Licht erscheinen). Diese Aussendung von Wellen ändert aber die Geschwindigkeit der Elektronen, ebenso wie die Aussendung von Schallwellen die Geschwindigkeit einer Stimmgabelbewegung vermindert. Dadurch werden der innere Bewegungszustand und mit ihm das innere Gleichgewicht des Atomes verändert; so mag es früher oder später zur Absprengung von Teilen kommen.

Wie dem aber auch sein mag, es liegt jedenfalls die Annahme nahe, daß der Unterschied von aktiven und inaktiven Stoffen, von stabilen und labilen Atomen nur ein gradueller, kein prinzipieller ist. Damit ergibt sich die Berechtigung, die Ansicht über den Atomaufbau, welche durch die radioaktiven Erscheinungen aufgedrängt wird, auch auf die „inaktiven" Atome der gewöhnlichen chemischen Elemente zu übertragen.

Die radioaktiven Erscheinungen lehren, daß sowohl freie negative Elektronen wie positiv geladene leichte Atome (Heliumatome) Bruchstücke schwererer Atome bilden. Beim Atomzerfall werden diese Bruchstücke mit ganz enormer Geschwindigkeit ausgeschleudert. Wir werden also vermuten dürfen, daß im Innern der Atome lebhafte Bewegung herrscht, die die abgeschleuderten Partikelchen zu eilendem Fluge befähigt. Diese Annahme harmoniert aufs beste mit anderen Lehren der Elektronentheorie, insbesondere mit der Erklärung der Lichtaussendung und des Zeemaneffektes.

Fortsetzung. Elektrische Theorie der Materie. Wenn wir nun annehmen, daß in den Atomen elektrische Ladungen existieren, und wenn wir ferner uns erinnern, daß die scheinbare Trägheit der freien Elektronen vielleicht elektromagnetisch zu erklären ist, also sich allein daraus ergibt, daß die Elektronen Elektrizitätsmengen darstellen, so liegt eine überaus bedeutsame Vermutung ganz nahe: Auch die Trägheit bzw. die Masse der Atome könnte als eine elektromagnetische aufzufassen sein, könnte lediglich bedingt sein durch die im Atom vorhandenen Elektrizitätsmengen. Dann gäbe es überhaupt nur elektromagnetische Masse bzw. Trägheit; diese Grundeigenschaft der Materie wäre auf elektrische Kräfte zurückgeführt.

Wenn diese Auffassung zu Recht besteht, so enthält ein Atom möglicherweise recht zahlreiche elektrische Elementarquanten. Denn die elektromagnetische Masse eines Elektrons ist fast 2000mal kleiner als die Masse eines Wasserstoffatoms; dies gilt wenigstens, solange das freie Elektron nicht eine Geschwindigkeit besitzt, die sich derjenigen des Lichtes nähert. Selbst das Atom des Wasserstoffes, das leichteste von allen, würde demnach wohl schon sehr viele Elementarquanten enthalten, und das 238,5 mal schwerere Atom des Urans müßte in entsprechendem Maße reicher sein an inneren elektrischen Ladungen.

Allerdings bliebe zu bedenken, daß die scheinbare Masse eines Elektrizitätspartikelchens auch von dessen Durchmesser und Umgebung abhängt. Wenn es positive Teilchen gäbe, deren Ladung gleich derjenigen eines Elektrons, deren Durchmesser aber viel kleiner wäre, so wäre ihre Masse entsprechend größer. Das würde die Zahl der für ein Atom erforderlichen Teilchen erniedrigen. Die ganze Frage ist schwierig, weil die elektromagnetische Masse von mehreren Umständen abhängt.

Übrigens hat die Annahme, daß ein Atom recht zahlreiche Elektrizitätspartikelchen enthält, nichts Unwahrscheinliches an sich. Die komplizierten Spektren mancher Elemente, welche dartun, daß die Atome der letzteren sehr zahlreiche Lichtarten aussenden, weisen darauf hin, daß in diesen Atomen recht verschiedene Schwingungen negativer Elektronen vor sich gehen. Ein

radioaktives Atom kann, indem es schrittweise zerfällt, nacheinander eine ganze Anzahl negativer und positiver Teilchen abgeben.

Elektrisch neutrale Atome müssen natürlich ebensoviel negative wie positive Elektrizität enthalten. Die negativen Ladungen, die aus den Atomen austreten können, und auch wohl diejenigen, welche die Lichtschwingungen ausführen, stellen β-Teilchen oder negative Elektronen dar. Es liegt nahe anzunehmen, daß die ganze im Atom vorhandene negative Elektrizität aus solchen β-Teilchen besteht.

Die positive Elektrizität in den Atomen. Positive Elektronen?

Wie aber ist die positive Ladung der Atome aufzufassen, die die Gesamtheit der negativen Elektronen nach außen hin paralysiert? Das ist eine schwierige Frage. An sich läge es ja am nächsten, die positive Ladung der Atome nach Analogie der negativen zusammengesetzt zu denken, also anzunehmen, daß es den negativen Elektronen entsprechende positive Partikelchen mit gleich großer Elektrizitätsmenge und elektromagnetischer Masse gebe. Ein neutrales Atom wäre dann ein durch elektrische Kräfte zusammengehaltener Verband von gleich vielen negativen und positiven Elektronen.

Doch ergeben sich aus den bereits angeführten Tatsachen sehr gewichtige Bedenken gegen diese Auffassung. Wenn negative und positive Elektronen als wesentlich gleichartige Teilchen existierten und koordinierte Bausteine der Atome darstellten, so wäre es schwer verständlich, warum uns immer nur freie negative Elektronen entgegentreten, warum z. B. radioaktive Atome wohl freie negative, nicht aber freie positive Elektronen aussenden. Wir würden nicht verstehen, warum die positiven Ladungen immer an gewöhnliche Atome gebunden sind. Erst recht aber wäre es unbegreiflich, daß (nach der theoretischen Interpretation des Zeemaneffektes) Lichtwellen nur von schwingenden negativen Elektronen der Atome ausgehen.

Jedenfalls können nicht ohne weiteres negative und positive elektrische Elementarteilchen koordiniert werden. Negative und positive Ladungen zeigen ein wesentlich verschiedenes Verhalten. Während die negativen Elementarquanten frei von gewöhnlicher Materie existieren können, scheinen die positiven Ladungen immer an solche Materie, an Atome gebunden zu sein. Dies legt eine andere Auffassung der elektrischen Struktur des Atoms nahe. Wenn die positive Ladung sich so eng mit der Substanz der gewöhnlichen Atome verbunden erweist, kann man auf die Vermutung kommen, daß positive Ladung und Atomsubstanz wesentlich identisch sind. Die positive Elektrizität erscheint so als ein fundamentaler Besitz des eigentlichen Hauptbestandteiles des Atoms, der gar nicht von diesem Hauptbestandteil ablösbar ist, oder sie erscheint gar als der eigentliche Kern des Atoms. Zu diesem positiven Kern gehören dann negative Elektronen in solcher Anzahl, daß seine Ladung neutralisiert wird. Hängen sich ein oder mehrere überzählige Elektronen an, so entsteht ein negatives Ion. Werden dem neutralen Verbande ein oder mehrere negative Teilchen entrissen, so entsteht ein positives Ion.

Der positive Teil als Hauptbestandteil, als Kern des Atoms.

Ob der positive Kern nichts ist als eine Elektrizitätsmenge, die zwar verschieden groß und auch verschieden räumlich verteilt sein könnte, aber doch

bei allen Atomen qualitativ gleich wäre, oder ob dieser Kern aus einer mechanisch trägen Substanz besteht, die bei verschiedenen Elementen nicht notwendig die gleiche zu sein bräuchte, ist eine schwierige Frage. Die radioaktiven Umwandlungen leiten jedenfalls zu der Auffassung hin, daß jener Kern bei den verschiedenen Atomen einer Umwandlungsreihe von gleicher Qualität sein müsse; denn wie sollten sonst etwa aus dem Radiumatom das Radiumemanation-Atom, das Radium-A-Atom usw. durch Absplitterung von Atombruchstücken entstehen? Wenn man bedenkt, daß die α-Teilchen selbst positiv geladene Atome sind, so ergibt sich ohne weiteres, daß in diesen Partikelchen doch wohl Teile der positiven Kerne der zerfallenen Atome stecken müssen; denn die positiven α-Teilchen können nicht aus lauter negativen Elektronen aufgebaut sein. Wenn man dann noch beachtet, daß die α-Teilchen der verschiedenen aktiven Stoffe alle von gleicher Beschaffenheit zu sein scheinen, so liegt immerhin der Gedanke recht nahe, daß die Kerne aller aktiven Substanzen qualitativ gleiche Beschaffenheit haben. Wenn sich nun die aktiven Atome von den übrigen nur graduell unterscheiden, so kommen wir zu der Ansicht, daß die Kerne aller Atome qualitativ gleiche Beschaffenheit besitzen.

(Daß die α-Teilchen der verschiedenen aktiven Substanzen überall die gleichen sind, also stets Heliumatome darstellen, ist wahrscheinlich, weil man für das Verhältnis von Ladung und Masse bei α-Teilchen verschiedenen Ursprungs sich nur wenig unterscheidende Werte erhält.)

Auch das periodische System deutete ja darauf hin, daß alle Elemente aus den gleichen Urbestandteilen aufgebaut sind.

Wenn aber der positive Kern bei allen Elementen von gleicher Qualität ist, so spricht das immerhin für die Vermutung, daß er einfach aus Elektrizität besteht, also keine besondere mechanische Masse neben der elektromagnetischen hat. Denn positive Elektrizität ist eben überall von gleicher Qualität. Es wäre allerdings auch möglich, daß die positiven Kerne der verschiedenen Atome aus ein und derselben, mit mechanischer Trägheit behafteten Substanz beständen. Wir könnten dann sagen: die eigentliche, mechanisch träge Kernsubstanz der Materie ist positiv elektrisch; aber es käme ungefähr auf das gleiche hinaus, wenn wir sagten, die positive Elektrizität bildet die Kernsubstanz der Materie und besitzt mechanische Trägheit, während die negative Elektrizität nur eine elektromagnetische Scheinträgheit aufweist.

Indessen hat nach den angeführten Tatsachen und Hypothesen die Auffassung, daß die g a n z e Masse der Atome und somit der Materie elektromagnetischen Ursprungs sei, etwas Verlockendes. Das gilt dann ohne weiteres auch von der Vermutung, daß der Atomkern, von dem wir sprechen, nichts sei als eine positive Elektrizitätsmenge.

Der Bau des positiven Kernes.

Am einfachsten wäre es nun, sich diese positive Elektrizitätsmenge als eine Kugel vorzustellen. Sie würde zahlreiche (beim Wasserstoff möglicherweise ungefähr tausend) negative Elektronen durch ihre Anziehungskraft an sich fesseln, so daß diese um den Kern kreisen würden, etwa wie die Planeten um die Sonne. Rutherford denkt sich die positive Kugel verhältnismäßig klein;

ihr vor allem verdankt das Atom seine Masse; das Atomgewicht wäre der Ladung des positiven Kernes ungefähr proportional. Die positive Kugel ist nach Rutherford von Ringen negativer Elektronen umgeben. Thomson hat angenommen, daß die β-Teilchen im Innern des verhältnismäßig großen, kugelförmigen positiven Atomteiles schwingen. Stark denkt sich die positive Elektrizität in einzelnen Quanten vorhanden, die aber im Gegensatz zu den schwingungsfähigen negativen Elektronen in bestimmter Anordnung im Atom festsitzen. Sie bilden so gleichsam das Gerüst des Atoms. Die Abstände zwischen den Bausteinen der Atome werden verhältnismäßig groß sein, so daß Elektronen leicht durch Atome hindurchsausen können. So versteht man die Fähigkeit der β-Strahlen, feste Körper zu durchdringen.

Es ist jedenfalls nicht wahrscheinlich, daß der positive Atomteil ein einfaches Gebilde ohne besondere Struktur darstellt. Wenn das der Fall wäre, so könnten wir nicht verstehen, warum die α-Teilchen, deren positive Kerne doch den Kernen radioaktiver Atome entstammen müssen, immer gleich groß sind, immer Heliumatome darstellen; von strukturlosen Kernen könnten sich doch, zumal bei verschiedenen Atomen, ganz verschiedene Bruchstücke abtrennen.

Da die α-Teilchen bei ganz verschiedenen aktiven Substanzen Heliumatome darzustellen scheinen, liegt der Gedanke sehr nahe, daß die positiven Kerne der Heliumatome Bausteine der verschiedenen radioaktiven Atome bilden. Da diese Atome niemals andere als Heliumatome ausschleudern, könnte man vermuten, daß sie ganz aus positiven Heliumatomkernen und negativen Elektronen aufgebaut sind. Es läge dann nahe, ein gleiches für alle Atome anzunehmen.

Doch scheinen dem große Schwierigkeiten im Wege zu stehen. Ein Heliumatom besteht aus seinem positiven Kern und aus negativen Elektronen in solcher Zahl, daß die positive Ladung des Kernes nach außen paralysiert wird. Auf jeden positiven Heliumatomkern müßte auch in einem anderen Atom, zu dem er gehörte, eine entsprechende Zahl negativer Elektronen kommen. Daraus ergibt sich, daß jedes Atom alle Bestandteile einer ganzen Zahl von Heliumatomen enthalten müßte. Man könnte also zunächst leicht meinen, daß dann die Masse jedes beliebigen Atomes ein ganzes Vielfaches der Masse des Heliumatomes darstellen müsse. Das stimmt jedoch nicht, wie ein Blick auf eine Atomgewichtstabelle beweist. Das Wasserstoffatom ist sogar 4mal leichter, massenärmer, als das Heliumatom. Nun nimmt allerdings das Wasserstoffatom eine besondere Stellung ein; es ist das leichteste Atom, und es paßt nicht in das periodische System. Aber auch die anderen Atomgewichte sind durchaus nicht ganze Vielfache des Heliumatomgewichtes. Das letztere ist gleich 4; die folgenden Atomgewichte sollten also etwa 8, 12, 16, 20 ... sein; sie betragen aber 7,01 (beim Lithium), 9,08 (keim Beryllium), 10,9 (beim Bor), 11,97 (beim Kohlenstoff) usw. Nun kann man sich darauf berufen, daß die elektromagnetische Trägheit der im Atom enthaltenen Ladungen von der Umgebung derselben abhängig ist; die scheinbare Masse des gleichen elektrischen Partikelchens

kann also in verschiedenen Atomen eine verschiedene sein. Doch weichen die übrigen Atomgewichte von dem Vielfachen des Heliumatomgewichtes immerhin ungemein stark ab. Es bliebe aber noch eine andere Möglichkeit, die Vermutung zu verteidigen, daß die positiven Kerne aller Atome aus Heliumatomkernen bestehen. Die elektromagnetische Masse eines elektrischen Partikelchens ist um so kleiner, je größer dessen Durchmesser ist. Man kann sich also vorstellen, daß die Heliumatomkerne ihre scheinbare Masse stark ändern können, indem sie sich ausdehnen oder zusammenziehen, ohne ihre Elektrizitätsmenge zu ändern.

Man erkennt zugleich, wie schwierig die Frage ist, ob positiven Atomkernen, überhaupt positiven Partikelchen, eine mechanische Masse zugeschrieben werden muß. Ein einziges positives Elementarquantum könnte allein die scheinbare Masse des schwersten Atomes aufweisen, wenn es auf einen hinreichend kleinen Raumteil zusammengedrängt wäre.

Die Verhältnisse liegen recht kompliziert. Wir müssen uns auf das Ergebnis beschränken, daß neben negativen Elektronen die positiven Bestandteile der Heliumatome als Bausteine der radioaktiven Atome zu betrachten sind. Die positiven Bausteine brauchen übrigens keine letzten Einheiten zu sein; sie könnten selbst wieder aus Teileinheiten aufgebaut sein. Diese Teileinheiten könnten sich schließlich in allen Atomen, auch in den leichtesten, denjenigen des Wasserstoffes, finden. Die naheliegende, an die alte Proutsche Hypothese erinnernde Vermutung, das Wasserstoffion, das durch Verlust eines negativen Elektrons aus dem leichtesten der Atome, dem Wasserstoffatom, entsteht, möge das positive Elementarteilchen darstellen, ist abzulehnen. Denn das Leuchten des Wasserstoffions im Kanalstrahl kann nur von einem zusammengesetzten Gebilde ausgehen; nur in einem solchen sind die dem Leuchten entsprechenden Schwingungen möglich. Das Wasserstoffion ist also zusammengesetzt; es stellt kein Elementarteilchen dar. Natürlich könnte es trotzdem ein Bruchstück, einen Bestandteil größerer Atome darstellen.

Die Ansicht, daß alle Stoffe in letzter Linie aus denselben Teilchen (etwa aus den gleichen negativen Elektronen und positiven Teilchen) aufgebaut sind, findet eine Stütze in der bemerkenswerten Tatsache, daß Schirme der verschiedensten Substanzen Kathodenstrahlen annähernd gleich stark abfangen (absorbieren), wenn sie gleiches Gewicht besitzen, d. h. wenn die Schirme um so dicker sind, je leichter ihre Substanz ist (Lenard). Haben die Schirme gleiches Gewicht, so werden sie, falls sie aus denselben (positiven und negativen) Teilchen aufgebaut sind, wohl auch aus annähernd gleich vielen Teilchen bestehen; der gleichen Zahl der Teilchen entspricht aber der gleiche Widerstand gegen das Bombardement der Kathodenstrahlpartikelchen, die gleiche Fähigkeit, diese zurückzuhalten (zu absorbieren und zu zerstreuen).

Anordnung der Elektronen im Atom.

Um einen Einblick in die Anordnung der Elektronen im Atom zu erlangen, kann man versuchen, in einem vergrößerten Modell die Kraftverhältnisse nachzuahmen, die nach unseren Annahmen im Atom herrschen müssen. Hierzu können ältere, von A. M. Mayer 1879 zu anderen Zwecken angestellte Versuche dienen, die neuerdings von Porter in etwas anderer Form wiederholt

worden sind (1906). An die Stelle der negativen, sich untereinander abstoßenden Elektronen treten im Modell die sich gleichfalls abstoßenden gleichnamigen Pole kleiner Magnetstäbchen, welche, durch Korkstückchen gesteckt und von diesen getragen, in senkrechter Stellung frei beweglich auf Wasser schwimmen. Der positive Kern, der die negativen Elektronen anzieht und im Atom festhält, wird in der Mayerschen Anordnung vertreten durch einen stärkeren Magnetpol, welcher über den nach oben gerichteten Polen der schwimmenden Magnetchen angebracht wird und diese nach dem Punkte der Wasseroberfläche hinzuziehen strebt, über dem er sich befindet; der stärkere Pol muß natürlich entgegengesetzt magnetisch sein. Wenn nur einige wenige Magnetchen da sind, so ordnen sie sich unter dem Einfluß ihrer gegenseitigen Abstoßung und der nach einem Punkte gerichteten Anziehung durch den stärkeren Magnetpol in einem regelmäßigen Dreieck, Viereck, Fünfeck, kurz auf einem Kreis um jenen Anziehungsmittelpunkt. Vermehrt man die Zahl der kleinen Magnete, so entstehen Anordnungen von zwei konzentrischen Ringen um den Anziehungsmittelpunkt, wobei dann der innere Kreis die Anordnungen wiederholt, die bei einfachen Kreisen, also wenigen Magnetchen, vorkamen. Werden die schwimmenden Magnetchen weiter vermehrt, so entstehen drei konzentrische Ringe.

Natürlich können die Mayerschen Versuche nur ein ganz grobes Modell geben, das in vieler Hinsicht der Atomstruktur sicherlich nicht entspricht. Wenn wir vom positiven Kern ganz absehen, so sind doch wohl die negativen Elektronen der Atome nicht alle in einer Ebene angeordnet, wie die gleichnamigen Pole unserer Magnetchen. Die Elektronen könnten sich aber auf Kugeloberflächen um den positiven Kern ordnen, die den Ringen von Magnetpolen entsprechen würden. Man hätte also je nach dem Atomgewicht, welches mit der Zahl der Elektronen wachsen würde, eine oder mehrere konzentrische, mit Elektronen besetzte Kugelflächen. Bei mehrfachen Kugelflächen könnten die inneren Flächen Anordnungen wiederholen, wie sie bei geringerer Elektronenzahl auftreten, ähnlich wie bei mehrfachen Ringen von Magnetpolen die inneren Ringe Anordnungen wiederholen, die bei kleinerer Zahl von Magnetchen auftreten. Wenn sich so bei steigender Elektronenzahl von Zeit zu Zeit Anordnungen finden, die frühere, einer kleineren Elektronenzahl entsprechende Anordnungen wiederholen, aber dieselben mit einer neuen Kugelfläche von Elektronen umgeben, so könnte dieser Sachverhalt erklären, warum wir von Zeit zu Zeit auf verwandte Eigenschaften stoßen, wenn wir die Elemente nach steigendem Atomgewicht (also nach steigender Elektronenzahl) anordnen. Wir würden uns so einem Verständnis des periodischen Systems der Elemente nähern. Diese Erklärung desselben ist natürlich recht hypothetisch.

Ein Fehler unseres Atommodelles liegt darin, daß die Magnetpole sich in ruhendem Gleichgewicht befinden, während die Elektronen in den Atomen schwingende oder kreisende Bewegungen ausführen. Nagaoka und J. J. Thomson haben solche Bewegungen der Elektronen in Rechnung gezogen und sich bemüht, auf diese Weise leistungsfähigere Atommodelle zu entwerfen. Man versucht, so Erklärungen für gewisse Besonderheiten der Lichtausstrahlung zu finden, die

sich im Spektrum kundtun, sowie für Tatsachen, die dem periodischen System der Elemente entsprechen. In der Tat ist schon einiges in dieser Hinsicht erreicht worden; doch sind die Überlegungen noch nicht frei von Willkür und Unsicherheit. Die Verhältnisse mögen recht kompliziert und schwer durchschaubar sein, da möglicherweise Tausende von Elektronen im Atom stecken; bezüglich des positiven Atomteiles ist man erst recht im Unklaren und gezwungen, mit ziemlich willkürlichen Voraussetzungen zu operieren, wenn man Atommodelle entwerfen will. Wir gehen hier nicht weiter darauf ein.

Schwierigkeiten der Elektronentheorie und der elektrischen Theorie der Materie. Die Schwierigkeiten der elektrischen Theorie der Materie, die uns bei der Zeichnung von Atommodellen entgegengetreten sind, beruhen zum Teil auf der undurchsichtigen Komplikation der Verhältnisse im Atom. Aber es liegen noch andere Schwierigkeiten vor.

Räumliche Beschaffenheit (Gestalt usw.) der Elektronen.

Das erfahren wir, wenn wir nach der räumlichen Beschaffenheit der Elektronen fragen. Die theoretische Betrachtung muß dem Elektron eine gewisse Größe zuschreiben; wäre das elektrische Elementarquantum in einen mathematischen Punkt zusammengedrängt, so wäre seine elektromagnetische Masse unendlich groß. Wenn das Elektron räumliche Größe hat, so hat es auch eine Gestalt. Man nimmt diese als kugelförmig an, ohne dafür einen Beweis zu haben. Nach Abrahams Hypothese sind die Elektronenkugeln absolut starr; die Annahme, daß die letzten Bausteine der Körperwelt unveränderlich sind, hat etwas Zusagendes, wenn sie auch nicht notwendig ist. Nach H. A. Lorentz dagegen platten sich die Elektronenkugeln bei der Bewegung in der Richtung derselben (zu Rotationsellipsoiden) ab. Es fragt sich ferner, ob die Elektrizität nur auf der Oberfläche des Elektrons sich findet (wie es bei einer geladenen Metallkugel der Fall ist), oder ob sie das ganze Innere des Partikelchens füllt. Diese Frage ist bedeutsam, weil die elektromagnetische Trägheit von der Verteilung der Elektrizität abhängt.

Immerhin handelt es sich hier mehr um unentschiedene Probleme als um bedenkliche Schwierigkeiten. Solche gehen aber vielleicht aus diesen Fragen hervor. Wenn man mit Lorentz annimmt, daß die Elektronen bei der Bewegung sich abplatten, nach der Bewegung aber wieder Kugelform annehmen, so schreibt man ihnen so etwas wie Elastizität zu. Man könnte die Wiederherstellung der Kugelform auf die elektrische Abstoßung im Elektron zurückführen. Es bleibt dann aber die auch bei der Abrahamschen Hypothese auftauchende Frage, was denn überhaupt die Elektrizität im Elektron zusammenhält, wenn dieses nichts anderes ist als eben Elektrizität. Wie jede Elektrizitätsmenge infolge der elektrischen Abstoßungskraft auseinanderstrebt, so müßte die Ladung des Elektrons auseinanderfliegen, wenn nicht andere Kräfte dies verhinderten. Weil im Elektron die Ladung so eng zusammengedrängt ist, müßte dies Auseinanderfliegen mit riesiger Gewalt erfolgen. In oder auf dem Elektron muß also die Elektrizität durch eine Art von Druckkraft oder Zusammenhangskraft (Kohäsion) zusammengehalten werden. Diese Kohäsion, dies Zusammenhalten einer bestimmten, etwa negativen Elektrizitätsmenge ist aus den bekannten

Kohäsion im Elektron.

elektrischen Kräften nicht zu erklären. Die rein elektrische Interpretation der Materie scheint also schon bei der Betrachtung der letzten Bausteine, der Elektronen, zu versagen.

Doch kann man gegen solche Kritik einwenden, daß sie Gesetze auf das einzelne Elektron anwendet, die auf Grund unserer Erfahrung lediglich für die Wechselwirkung zwischen mehreren Elektronen anzuerkennen sind. Gewiß, die Ladung einer Seifenblase strebt auseinander und kann diese Blase ausdehnen. Aber das Auseinanderstreben beruht hier darauf, daß die einzelnen, die Gesamtladung bildenden Elektronen sich gegenseitig abstoßen. Jedoch auf oder in der Kugel eines einzelnen Elektrons sitzen nicht wieder Elektronen, die sich abstoßen, die auseinanderfliegen müßten, wenn sie nicht durch eine Art von Kohäsion zusammengehalten würden. Wir müssen annehmen, daß alle gleichnamigen Elektronen sich gegenseitig abstoßen; aber daraus folgt nicht, daß auch innerhalb der Elektrizitätsmenge eines einzelnen Elektrons noch Abstoßungskräfte wirken. Darüber sagt uns die Erfahrung nichts. Die Elektronen sind die Elementarpartikelchen der (negativen) Elektrizität; dies besagt, daß sie nach außen als Elektrizitätsquanten wirken, aber es fordert nicht, daß im Innern dieser Partikelchen dieselben Gesetze gelten, die ihre Wirkung nach außen, die die Wechselwirkung mehrerer Partikelchen beherrschen. Zwischen mehreren Atomen wirken chemische Anziehungskräfte; daraus folgt nicht, daß auch im Innern eines einzelnen Atoms chemische Anziehungskräfte herrschen müssen. Zwischen mehreren negativen Elektronen herrschen elektrische Abstoßungskräfte; daraus folgt nicht, daß auch im Innern eines einzelnen Elektrons elektrische Abstoßungskräfte herrschen müssen.

Wir können also jene vermeintliche Schwierigkeit der rein elektrischen Interpretation des Elektrons und der Materie nicht anerkennen. Eine das Elektron zusammenhaltende Kohäsionskraft, die selbst nicht elektrischer Natur wäre, scheint uns entbehrlich. Übrigens bringt man die Annahme einer solchen Kohäsionskraft mit der noch zu besprechenden Ätherhypothese in Verbindung, wodurch erstere dann in der Tat in anderem Lichte erscheint. Aber die Ätherhypothese und ihre Ausgestaltungen und Anwendungen bieten selbst Anlaß zu entschiedener Kritik.

Mie bringt die Kohäsionskräfte der Elektronen (oder die entsprechenden Kohäsionsdrucke im Äther, in dem die Elektronen schwimmen) in Zusammenhang mit einer allgemeinen Eigenschaft der Materie, die wir der Trägheit zur Seite stellen können, mit der Massenanziehung oder Gravitation (Schwerkraft). Diese Kraft sucht alle Atome zusammenzuführen, und dadurch schon zeigt sie einige Verwandtschaft mit der vermuteten Kohäsionskraft, die das Elektron zusammenhalten soll. Jedenfalls muß die elektrische Hypothese der Materie diese allgemeine Eigenschaft der letzteren, die Gravitation, erklären können; denn mit der elektrischen (elektromagnetischen) Erklärung der einen allgemeinen Eigenschaft der Materie, der Trägheit, ist es nicht genug.

Die Gravitationsfrage.

Damit steht die elektrische Hypothese der Materie aber vor einer sehr schwierigen Aufgabe. So vertraut man seit Newtons Tagen mit dem Gesetz

der Gravitation und ihren Erde und Sternenhimmel beherrschenden Wirkungen ist, die zahlreichen Versuche, diese verbindende Kraft im Weltgetriebe (die fast die Rolle der allverbindenden Liebeskraft spielt, welche Empedokles einst annahm) zu erklären, sind nicht zu einem befriedigenden Ziele gelangt. Es sei nur an Lesages Hypothese erinnert. Er führte die Gravitation zurück auf mit großer Geschwindigkeit in allen Richtungen den Raum durcheilende Teilchen. Durch deren Anprall an die Körper entsteht ein Druck auf dieselben. Wenn nun zwei Körper in einem gewissen Abstande einander gegenüberstehen, so schirmen sie sich gegenseitig gegen das Bombardement der Teilchen, so daß die einander zugewandten Seiten weniger getroffen werden. Auf diesen Seiten ist daher der Druck geringer, und darum nähern sich die Körper, als ob sie einander anzögen.

Der Grundgedanke der Stoßhypothese der Gravitation ist nach Lesage mehrfach vertreten worden bis in die jüngste Zeit (W. Thomson, Isenkrahe).

Will man die Anziehung zwischen zwei Massen (z. B. zwischen Sonne und Erde) durch die elektrische Hypothese der Materie erklären, so wird man an elektrische Anziehungskräfte denken. Während gleichnamige Elektrizitäten einander abstoßen, ziehen sich ungleichnamige Ladungen an. Jedes elektrisch neutrale Atom soll aus positiven und aus negativen Ladungen bestehen, derart daß der Gesamtbetrag der positiven Ladung gleich dem der negativen ist. Betrachten wir nun zwei Atome oder Atomkomplexe, zwei elektrisch neutrale Körper! Die negativen Ladungen des einen stoßen die negativen des anderen, die positiven des einen die positiven des anderen ab; die negativen Ladungen des einen ziehen die positiven des anderen, die positiven des einen die negativen des anderen an. Man nimmt auf Grund der Erfahrung an, daß zwei gleichnamige Elektrizitätsmengen sich ebenso stark abstoßen, wie sich gleichgroße ungleichnamige Mengen anziehen. Demnach müßten sich die elektrische Abstoßung und Anziehung zwischen neutralen Atomen oder Körpern ausgleichen, da in jedem derselben ebensoviel positive wie negative Elektrizität enthalten ist. Will man aber die Massenanziehung auf die elektrische Anziehung zurückführen, so mag man annehmen, daß die elektrische Anziehung zwischen ungleichnamigen Ladungen die Abstoßung zwischen ebenso großen, aber gleichnamigen Elektrizitätsmengen überwiegt. Negative und positive Elementarquanten müßten sich etwas stärker anziehen, als sich negative (oder positive) Elementarquanten untereinander abstoßen.

Das ist freilich eine sehr kühne, durch keine Erfahrung gestützte Annahme. Sie erklärt allerdings die merkwürdige Tatsache, daß Massenanziehung und Massenträgheit einander entsprechen (Newton, Bessel, Eötvös). Die Gravitation eines Körpers gegen die Erde nennen wir Schwere. Die Größe dieser Erdanziehung messen wir durch die Wage. Hat nun ein Körper — aus welchem Stoff er auch bestehen mag — ein zehnmal so großes Gewicht wie ein anderer, so leistet er auch einer Bewegungsänderung einen zehnmal größeren Widerstand. Diese Proportionalität von Gewicht (Massenanziehung) und Trägheit ist sehr merkwürdig; denn die Kraft, mit der eine Masse gegen die Erdmasse hinstrebt,

hat doch zunächst gar nichts mit dem Widerstande zu tun, den diese Masse leistet gegenüber dem Bestreben, sie in irgendeiner Richtung in Bewegung zu setzen, oder sie in ihrer Bewegung aufzuhalten. Unsere elektrischen Hypothesen der Trägheit und der Gravitation machen die Sache plausibel. Sowohl der Trägheitswiderstand wie die Gravitation der Körper beruhen auf den sie aufbauenden Ladungen. Allerdings ist leicht einzusehen, daß bei genauerer Betrachtung neue Schwierigkeiten entstehen; sowohl die elektromagnetischen Massen als auch die zwischen Ladungen herrschenden Kräfte hängen noch von mancherlei komplizierenden Faktoren ab. Auch für die elektrische Hypothese der Materie bietet die Gravitation eine ungelöste Aufgabe, eine beträchtliche Schwierigkeit. — Auf andere moderne Hypothesen der Gravitation, an denen es nicht fehlt (Abraham, Einstein, Mie, Nordström), gehen wir nicht ein.

Erklärung anderer Kräfte durch die elektrische Auffassung der Materie.

Wenn man gewagte Annahmen nicht scheut, könnte man hoffen, daß alle zwischen den sichtbaren Körpern und ihren Molekülen und Atomen wirkenden Kräfte durch die elektrische Hypothese der Materie erklärbar sind. Bei manchen Kräften, z. B. den chemischen und magnetischen, sind solche Erklärungen viel weniger willkürlich als bei der Gravitation. Im Anschluß an Ampère wurden schon seit langer Zeit die Kräfte der Magnete auf elektrische Ströme zurückgeführt, die etwa die Eisenmoleküle umkreisen. Diese kleinen gleichgerichteten Kreisströme sind im Sinne unserer Hypothesen als Bewegungen von Elektronen aufzufassen (Richarz). — Hier ist nicht der Ort, auf die einzelnen Kräfte einzugehen. Bedeutende Schwierigkeiten scheinen der Erklärung der Reibung im Wege zu stehen. Nach Wiechert[1]) lassen sich die Kräfte, welche die Körper zusammenhalten, bestimmt nicht rein elektrodynamisch erklären. —

Wir können nicht alle die anderen Schwierigkeiten anführen, denen sich die Elektronentheorie und die elektrische Hypothese der Materie noch gegenüber sehen. Es mögen nur die merkwürdigen Eigenschaften der Scheinträgheit der Elektronen erwähnt werden. Wir betonten bereits die Abhängigkeit dieser Trägheit von der Geschwindigkeit. Sie hängt aber auch von der Bewegungsrichtung des Elektrons ab. In der Bewegungsrichtung ist der Trägheitswiderstand, die Scheinmasse, größer als senkrecht zu ihr. Bei relativ kleinen Geschwindigkeiten ist der Unterschied verschwindend, bei großen aber wird er unendlich. Schließlich hängt die Trägheit des Elektrons noch davon ab, ob es sich im freien Äther oder in einem anderen Medium befindet.

Seltsame Eigenschaften der elektromagnetischen Trägheit.

Diese und andere Komplikationen — vielleicht hat das Elektrizitätspartikelchen neben der elektromagnetischen noch eine elektrostatische Trägheit — kämen nun auch für die Trägheit der Materie in Betracht, wenn letztere aus elektrischen Ladungen aufgebaut wäre. Die Trägheit eines Steines müßte also mit der Geschwindigkeit wachsen, bei Lichtgeschwindigkeit unendlich werden; sie müßte verschieden sein in der Bewegungsrichtung und in den von ihr abweichenden, insbesondere in den auf ihr senkrecht stehenden Richtungen, usw. Davon ist nichts zu beobachten. Aber es ist zu bedenken, daß wir auch

---

[1]) Kult. d. Gegenwart III, III, 1 Physik S. 55.

keine Beobachtungen über die Trägheit von sicht- oder greifbar großen Körpern besitzen, die so enorme Geschwindigkeiten hätten, daß jene seltsamen Konsequenzen der elektrischen Theorie der Materie, jene Inkonstanzen der Masse uns auffallen müßten. Die Veränderlichkeit der elektromagnetischen Masse und ihre Verschiedenheit in verschiedenen Richtungen treten erst stärker hervor bei Geschwindigkeiten von der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit. Die letztere beträgt 300000 km. Eine Kanonenkugel durchfliegt vielleicht $^1/_2$—1 km in der Sekunde, der Mond auf seinem Lauf um die Erde 1 km, die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne nicht ganz 30 km und der rasend schnelle Halleysche Komet in Sonnennähe noch nicht 400 km, d. h. seine Geschwindigkeit beträgt noch nicht $^1/_{750}$ der Lichtgeschwindigkeit!

Vielleicht könnten einmal — abgesehen von den freien Elektronen — bei den Atomen der besprochenen positiven Strahlungen die Inkonstanzen der Masse merklich werden. Schnelle α-Strahlteilchen (positiv-elektrische Heliumatome) haben Anfangsgeschwindigkeiten bis zu 22400 km.

Ergebnis. Die naturwissenschaftliche Erkenntnis der Materie und ihrer Bausteine. Je mehr wir uns von den sichtbar großen Verhältnissen entfernen, je tiefer wir in die Struktur und das Wesen der Körperwelt einzudringen versuchen, um so unsicherer werden die Hypothesen, um so größer die Schwierigkeiten, die sich ihrer Durchführung entgegenstellen. Wir dürfen die Grundzüge der physikalischen Molekulartheorie als recht wahrscheinliche Erkenntnisse betrachten. Auch die zunächst und vornehmlich aus chemischen Tatsachen abzuleitende Hypothese vom Aufbau der Moleküle aus Atomen (deren es etwa 83 verschiedene Sorten gibt, abgesehen von den deutlich radioaktiven Atomen, deren man bereits jetzt etwa 35 verschiedene kennt) erscheint befriedigend begründet. Den Hypothesen über den Aufbau der Atome aber kann nicht eine gleich hohe Wahrscheinlichkeit zugesprochen werden. Zwar ist vom Standpunkte der Atomistik aus gegenwärtig die Annahme nicht wohl zu umgehen, daß die gewöhnlichen Atome noch eine zusammengesetzte Struktur besitzen, und auch ein nicht zu kühnen Hypothesen neigender Forscher wird die Ansicht gelten lassen, daß in den Atomen sich elektrische Ladungen finden. Selbst die Lehre von der atomistischen Struktur der (negativen) Elektrizität, die Grundlehre der Elektronentheorie, darf als einigermaßen wahrscheinlich gelten, und das gleiche gilt vielleicht noch von der Hypothese eines Zerfalls der radioaktiven Atome. Die elektrische Theorie der Materie hingegen muß als recht gewagt bezeichnet werden, so sehr manches zu ihr hindrängt.

Die sicht- und greifbar großen Körper haben eine feine, wahrscheinlich höchst komplizierte Mikrostruktur. Welcher Art aber ihre letzten Bausteine sind, bleibt fraglich. Vielleicht ist alle greifbare Materie zuletzt aufgebaut aus Teilchen, die die Eigenschaften der Elektrizität besitzen und wesentlich nur diese; vielleicht sind alle Eigenschaften der wahrnehmbaren Körper zuletzt auf die Eigenschaften positiver und negativer elektrischer Ladungen zurückzuführen.

Die elektrischen Elementarpartikelchen als Körper.

Damit wäre die gewöhnliche Materie auf die Elektrizität zurückgeführt. Die letztere erscheint aber selbst als etwas durchaus Körperliches, so sehr sie auch von der gewöhnlichen Materie zunächst sich unterscheidet. Die Urteilchen der Elektrizität sind nicht nur jeweils an bestimmten Stellen im Raume; sie scheinen auch gewisse Raumteile zu erfüllen. Die negativen Elektronen und wohl ebenso die letzten positiven Partikelchen sind selbständige, raumerfüllende Realitäten, sind Körper, so sehr sie sich in ihren Eigenschaften auch von den Körpern unterscheiden mögen, die wir um uns sehen.

Man sagt wohl, die Materie werde durch die kühne neue Hypothese in Elektrizität aufgelöst. Man kann hinzufügen, daß zugleich die Elektrizität zu etwas Körperlichem gemacht, sozusagen materialisiert wird. Es fragt sich allerdings, ob man jeden Körper, jede substantielle raumerfüllende Realität, als Materie bezeichnen soll. Nicht selten faßt man den Begriff der Materie enger (z. B. wenn man sie in Gegensatz zum Weltäther bringt); nur die gewöhnlichen, greifbaren, schweren raumerfüllenden Substanzen werden dann als Materie bezeichnet. So könnte man zwischen Materie und Elektrizität weiterhin unterscheiden. Indessen erscheint diese Unterscheidung künstlich, wenn die gewöhnliche Materie aus Elektrizität aufgebaut ist, wenn die Elektrizität sozusagen ihr Bau-„Stoff" ist. Wenn es darauf ankommt, den Unterschied zu betonen, werden wir von „gewöhnlicher" Materie im Gegensatz zur Elektrizität sprechen. Übrigens sind Konfusionen infolge solcher terminologischer Schwierigkeiten hier nicht zu befürchten.

Die Frage nach der Grenze der Teilbarkeit. Ausdehnungslose Urteilchen?

Wenn die elektrischen Bausteine der Atome ausgedehnte Gebilde, Körperchen von einer gewissen Größe und Form darstellen, so drängt sich leicht die Frage auf, ob sie nicht selbst wieder aus kleineren Teilchen aufgebaut sind, ob sie wirklich die letzten Bausteine der Körper darstellen. Natürlich können wir in Gedanken auch die winzigen Elektronen, deren Durchmesser 0,0000000000004 cm betragen mag, zerteilen wie jedes ausgedehnte Ding; diese lediglich gedachte Teilung ist bei jedem Bauelement der Materie möglich, solange wir nicht auf ausdehnungslose Punkte stoßen (und schließlich könnten wir uns selbst ein ausdehnungsloses Reales, das sich durch eine gewisse Kraft offenbarte, zerteilt denken in zwei Punkte von halber Kraft usw.). Weil wir in Gedanken immer weiter teilen können, bis wir auf ausdehnungslose Punkte stoßen (eigentlich sogar noch weiter!), hat man gemeint, auch die wirkliche Teilung der Materie müsse fortgeführt werden können, bis man auf ausdehnungslose punktförmige Urteilchen der körperlichen Dinge stoße; die Materie müsse also schließlich aus ausdehnungslosen Urteilchen aufgebaut sein. Indessen braucht nicht alles das in der physischen Wirklichkeit durchführbar zu sein, was gedanklich möglich ist; in Gedanken kann ich einen Stahlblock mit einem Papierblatt durchschneiden. Wir wissen also nicht, ob die ausgedehnten elektrischen Elementarpartikelchen, welche die Atome aufbauen mögen, ihrerseits in Wirklichkeit noch weiter teilbar sind, ob sie aus kleineren, etwa ausdehnungslosen Urteilchen bestehen. Es ist wohl denkbar und möglich, daß es der Fall ist. Die Fixsterne erscheinen unserem Auge selbst im stärksten Fernrohre als einfache Lichtpunkte,

und doch ist anzunehmen, daß sie Welten von reicher innerer Struktur darstellen. So mögen auch die Elektronen, an denen das geistige Auge des Physikers gegenwärtig keine gegliederte Struktur zu erkennen vermag, eine solche trotzdem besitzen. Jedes Elektron kann eine Welt voll innerer Mannigfaltigkeit, Schönheit und Lebendigkeit darstellen, vergleichbar etwa unserem Planeten; denn groß und klein sind relative Begriffe, und im Kleinsten, das wir kennen, kann eine unendliche Fülle von wiederum Kleinerem verborgen sein. Es ist nicht belanglos, sich dies einmal zu vergegenwärtigen, wenn es auch kaum wissenschaftlichen Wert hat, darüber weiter nachzusinnen, solange nicht Erfahrungstatsachen der Phantasie des Forschers Weg und Schranken weisen. Aber solche Erfahrungstatsachen, die über das Elektron hinaus in eine aus noch kleineren Bausteinen bestehende Welt hineinführten, könnte die Wissenschaft der Zukunft bringen. (Schon berichtet F. Ehrenhaft, daß es Elektrizitätsmengen gibt, welche kleiner sind als die des Elektrons.) Jedenfalls bewahrt die Vergegenwärtigung solcher Möglichkeiten uns davor, das Gesamtbild der Natur endgültig abschließen zu wollen an jenem Punkte, bis zu dem die Forschung der Zeit gerade vorgedrungen ist. Man könnte in Kantscher Denk- und Sprechweise etwa sagen, die „Idee“ der unendlichen Teilbarkeit der Materie habe eine „regulative“ Bedeutung, insofern sie die Vernunft warne, den endgültigen Abschluß des Welt- bzw. Naturbildes, nach welchem letztere strebt, als erreicht anzusehen, indem sie die Vernunft antreibe, rastlos weiterzuarbeiten an jenem Bilde, das nur in unendlichem Prozeß vervollkommnet, nie aber vollendet werden kann.

Wir kennen zurzeit keine gegliederte Struktur der elektrischen Elementarteilchen, keine Bausteine dieser Partikelchen. Wir wissen weder, daß es solche Teilbausteine gibt, noch daß es sie nicht gibt. Möglich ist beides. Möglich, aber nicht denknotwendig ist es auch, daß die Urteilchen aller Körper ausdehnungslose Realitäten sind, Kraftpunkte, deren Komplexe Körper bilden, also Räume erfüllen, weil die Punkte durch Kräfte auseinandergehalten werden. In der naturphilosophischen Spekulation haben ausdehnungslose „Uratome“, die einfache Kraftpunkte oder Kraftzentren darstellen, eine erhebliche Rolle gespielt (Leibniz, Boscovich, Fechner); doch haben solche Anschauungen in der naturwissenschaftlichen Erfahrung, die das entscheidende Wort über die Beschaffenheit der physischen Dinge sprechen muß, bisher keine feste Grundlage finden können. —

Lehren uns nun die Mikrostrukturhypothesen und die elektrische Auffassung der Materie etwas über das eigentliche Wesen der letzteren? Wir haben die Frage nach dem Wesen der Materie bereits früher (S. 190f.) auf Grund erkenntnistheoretischer Überlegung besprochen. Die naturwissenschaftlichen Hypothesen, die wir inzwischen betrachtet haben, geben bzw. versuchen sicherlich einen tieferen Einblick in jenes Wirkliche, welches wir als Materie bezeichnen. Sie sagen uns vieles über den Bau derselben, meinen schließlich, das Wesen der Materie bestehe im Aufbau aus elektrischen Ladungen. Damit ist ein wichtiges relatives Erkennen gegeben; das Wesen der Materie ist in bezug auf dasjenige

Wesen der Materie und Elektrizität.

der Elektrizität bestimmt; Materie ist Elektrizität, und Elektrizität ist materiell. Damit ist aber nicht gesagt, was Materie oder Elektrizität an sich sind, welches ihr absolutes „inneres“ Wesen ist. Die naturwissenschaftliche Erkenntnis ist eben eine relative, ist kein absolutes Kennen, wie wir es etwa von eigenen Empfindungen oder Gefühlen besitzen. Wir kennen nicht die Materie oder die Elektrizität „an sich“, sondern ihr Verhalten, ihre Wirkungen. Damit muß sich der Naturforscher begnügen. Der Metaphysiker mag versuchen, das An-sich der Atome oder Elektronen zu erfassen; er mag sie etwa, an Leibniz anknüpfend, als seelisches Wesen auffassen.

Vielleicht wird die Naturforschung der Zukunft neue wichtige Einsichten in bezug auf das „Wesen“ der Materie oder ihrer Bausteine, sagen wir der Elektronen, bringen. Sie mag vielleicht finden, daß die Elektronen lediglich veränderte Teilchen eines Mediums darstellen, in dem sie sozusagen schwimmen, das den ganzen Weltraum füllt. Wir werden auf die Frage, ob der leere Raum mit einem solchen Etwas, dem sogenannten Weltäther, angefüllt ist, nunmehr eingehen. Wenn man aber auch solche Lehren anerkennen will, so wird damit wiederum das Wesen des Elektrons bzw. der Materie doch nur relativ, nämlich in bezug auf den Äther, bestimmt, dessen absolutes Wesen wir ebensowenig kennen. Es bleibt dabei, daß das „Wesen an sich“ der Materie, der Elektronen wie des Äthers der Naturforschung verschlossen ist.[1]

---

[1] Zu dem Inhalte dieses Kapitels vergl. die einschlägigen Abschnitte aus den Bänden: Physik, hrsg. v. E. Warburg, Kult. d. Gegenw. III, III, 1, Leipzig u. Berlin 1914, und: Chemie, hrsg. v. E. von Meyer. Allgemeine Kristallographie u. Mineralogie, hrsg. v. Fr. Rinne, Kult. d. Gegenw. III, III, 2, Leipzig u. Berlin 1913. Über die Makrostruktur der Materie, den Aufbau der Sternenwelt, siehe: Astronomie, hrsg. v. J. Hartmann, Kult. d. Gegenw. III, III, 3, Leipzig u. Berlin, i. E., sowie E. Becher, Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung, Berlin, i. E.

PROBLEMATISCHE KÖRPERLICHE REALITÄTEN IM „LEEREN“ RAUME.

Unter der Natur verstanden wir zunächst die Körperwelt (ohne damit leugnen zu wollen, daß unter Umständen auch unkörperliche Faktoren zur Natur gerechnet werden können). Bei der Zeichnung des Naturbildes gingen wir von den Körpern aus, die sich unseren Sinnen darbieten. Die wahrnehmbare, „gewöhnliche“ Materie und ihre Struktur, ihre Bausteine haben wir betrachtet.

Die Frage nach weiteren körperlichen Dingen neben der „gewöhnlichen“ Materie.

Es fragt sich aber, ob wir damit die ganze Körperwelt, die Gesamtheit der raumerfüllenden Dinge, bereits kennen gelernt haben, ob es nicht neben der gewöhnlichen Materie und ihren Bausteinen noch andere körperliche Substanzen in der Welt gibt. Es könnte sich um Realitäten handeln, die nicht wahrnehmbar sind, und auf die man auch dann nicht stößt, wenn man die gewöhnliche, wahrnehmbare, schwere Materie in ihre unwahrnehmbar kleinen Bausteine zerlegt.

Es bleibt zwischen den gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen viel Raum, der zwar zunächst leer erscheinen mag, in dem sich aber unwahrnehmbare Realitäten verbergen könnten. Dieser Gedanke liegt um so näher, als tatsächlich der uns zunächst leer erscheinende Raum zwischen den Bergen oder Bäumen, überhaupt den greif- und sichtbaren Dingen, von einem weniger leicht wahrnehmbaren Stoff, der Luft, angefüllt ist. Sie verrät sich, wenn wir etwa einen dicht schließenden Stempel in ein an einem Ende geschlossenes Rohr hineinzutreiben versuchen; wir stoßen dann auf einen Widerstand, der fehlen würde, wenn in dem Rohr nichts vorhanden wäre.

Die Lufthülle unseres Planeten reicht bei weitem nicht bis zu anderen Gestirnen. Die Frage liegt nahe, ob jenseits ihrer Grenze, ob zwischen den einzelnen kosmischen Körpern der Raum leer ist. Ferner kann man fragen, ob zwischen den Molekülen, Atomen und Elektronen der wahrnehmbaren materiellen Dinge nichts Körperliches vorhanden ist. Da könnte sich ein Stoff befinden, der noch viel feiner wäre als die Luft, der noch viel schwerer zu bemerken wäre als diese. Man kann die Luft aus einem Gefäße auspumpen bis auf verschwindende Reste (bis auf fast $^1/_{100\,000\,000}$ der ursprünglich vorhandenen Luftmenge). Ist ein solches Gefäß dann wirklich leer, abgesehen von jenem Luftrest? Jedenfalls können wir einen Stempel in dasselbe eintreiben, ohne Widerstand zu finden. Aber das ist nicht entscheidend; denn wenn der vermutete

Stoff, der den Raum zwischen den Molekülen usw. ausfüllen soll, fein genug ist, kann sich unser Stempel durch ihn hindurch bewegen wie ein Sieb durch die Luft.

Es erscheint also durchaus möglich, daß zwischen den gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen noch eine oder mehrere andere körperliche Substanzen existieren. Sie könnten den Raum zwischen den gewöhnlichen Körpern, Molekülen, Atomen, Elektronen vollkommen ausfüllen. Es gäbe demnach gar keinen leeren Raum.

Problem des leeren Raumes. Apriorische Ablehnung desselben ist unzulässig.

So hängt unsere Frage nach neuen, unwahrnehmbaren körperlichen Substanzen mit dem Problem zusammen, ob es einen leeren Raum gibt. Man hat vielfach geglaubt, die Unmöglichkeit eines leeren Raumes rein spekulativ, a priori, dartun zu können. Von Descartes wurden Raum und körperliche Substanz einfach gleichgesetzt; aber es ist eben fraglich, ob überall, wo Raum ist, auch ein raumerfüllendes reales Ding, ein Körper, sich befindet.

Nahe liegt folgende alte Überlegung. Wo ein leerer Raum wäre, wäre eben nichts. Zwei durch leeren Raum getrennte Körper wären also durch nichts getrennt, wären demnach überhaupt nicht getrennt. Eine Trennung von Körpern durch einen leeren Raum gibt es also nicht. Dem wäre folgendes entgegenzuhalten. Wenn wir einen Raum leer nennen, so meinen wir, daß er keine reale Substanz enthält. Es fragt sich also, ob zwei Körper nur dann getrennt sein können, wenn eine reale Substanz sie trennt. Die Erfahrung zeigt dies nicht; sie soll bei unserer spekulativen Erwägung ja auch beiseite bleiben. Sehen wir aber von dem Raum unserer Erfahrung ab, fragen wir nach dem zugrunde liegenden An-sich der Räumlichkeit, so kann unser Denken gar nichts darüber ausmachen, ob in diesem Räumlichen-an-sich zwei Dinge nur dann getrennt sein können, wenn ein reales Ding zwischen ihnen sich befindet. Die Außenweltsorte zweier Körper-an-sich können vielleicht sehr verschieden sein, ohne daß es andere Dinge-an-sich geben müßte, deren Außenweltsorte zwischen jenen Außenweltsorten vermittelten. Wir können darüber a priori gar nichts sagen. Eine Lösung der Frage, ob zwischen den gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen sich etwas Körperliches befindet, das vielleicht den ganzen Raum ausfüllt, kann nur auf Grund der Erfahrung versucht werden.

Es mag gleich gesagt werden, daß diese Frage und das Problem, ob neue körperliche Dinge neben den gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen anzunehmen sind, noch recht im argen liegen. Wir müssen verschiedene Auffassungen in Erwägung ziehen, die in der Wissenschaft unserer Tage einander gegenüberstehen. Dieser Kampf führt zurück auf den Widerstreit der Newtonschen und der Huyghensschen Lichthypothese. Wir haben daher im folgenden Anlaß, die historische Entwicklung in unserer Darstellung zu berücksichtigen, wenngleich wir sie nicht einfach wiedergeben, sondern nur im Interesse der sachlichen Klärung verwerten werden.

Der Äther der elastischen Lichttheorie. Wenn wir nach Realitäten fragen, die zwischen den gewöhnlichen Körpern existieren könnten, wird uns in erster Linie das Licht in den Sinn kommen. Zwar auch der Schall dringt vom tönenden Körper durch den Raum zu unserem Ohr vor. Aber einfache

Experimente zeigen, daß dies Vordringen nur in gewöhnlicher Materie, z. B. in Luft, möglich ist. Eine im luftleeren Raume angeschlagene Glocke sendet unserem Ohr keinen Ton zu. Der Schall wird also von gewöhnlicher Materie getragen. Er besteht nicht aus einem selbständigen, dinghaften Wirklichen, das uns der tönende Körper zustrahlte, sondern aus Schwingungsbewegungen, die sich in gewöhnlicher Materie, z. B. in Luft, fortpflanzen; man kann solche Schallschwingungen auf verschiedene Weise sichtbar machen.

Eine Lichtquelle hingegen wirkt auf unser Auge, auch wenn zwischen beiden keine gewöhnliche Materie sich befindet, die als Träger des Lichtes betrachtet werden könnte. Der Faden einer elektrischen Lampe blendet uns durch sein weißes Licht, obgleich er in der fast luftleeren Glasbirne glüht, und ferne Sterne leuchten uns, obwohl sie durch unermeßliche leere Räume von uns getrennt sind. Wenn auch in diesen Räumen hier und da Körner kosmischen Staubes sich befinden mögen, so können diese doch nicht als Träger des Sternenlichtes gelten; sie halten dasselbe vielmehr zum Teil zurück.

Haben wir nun im Licht etwas Substanzielles vor uns, das, selbst nicht von gewöhnlicher Materie getragen, vom leuchtenden Körper aus durch den „leeren“ Raum vordringt, also während dieses Vordringens im „leeren“ Raume existiert? Das scheint in der Tat der Fall zu sein. Kann man doch dem Licht durch einen Sonnenschirm den Weg versperren, wie dem fallenden Regentropfen durch einen Regenschirm. Und wie man die Geschwindigkeit des von der Wolke ausgesandten Regentropfens messen kann, so kann man auch diejenige des von Sternen ausgesandten Lichtes bestimmen.

Newtons Emissionstheorie. Lichtstoff-Annahme.

In der Tat liegt zunächst die Auffassung sehr nahe, daß das von einem leuchtenden Körper ausgesandte Licht eine Art Stoff darstelle, etwa aus kleinen Partikelchen bestehe, wie das ja auch bei Kathoden- und Kanalstrahlen, β- und α-Strahlen der Fall ist.

Dies ist der Grundgedanke der Newtonschen Emissionstheorie, die der geniale Forscher in seiner 1698 erschienenen Optik entwickelte. Jede Lichtquelle schleudert geradlinig fliegende und so die Lichtstrahlen bildende Teilchen aus. Treffen die Lichtteilchen auf die Oberfläche eines Körpers, so prallen sie, soweit sie nicht in diesen eindringen, an ihr ab; so ergibt sich die Reflexion, die Spiegelung des Lichtes. Das Abprallen beruht nach Newton darauf, daß die Moleküle des reflektierenden Körpers auf Lichtpartikelchen eine Abstoßungskraft ausüben. Ein Teil des Lichtes aber wird nicht zurückgeworfen sondern dringt in den Körper, z. B. in Glas, Wasser usw. ein, und der Lichtstrahl ändert dabei seine Richtung; das nennt man Brechung oder Refraktion des Lichtes. Warum prallen nun nicht alle Lichtteilchen ab, und warum fliegen die Lichtteilchen, die schräg auf Wasser auftreffen und eindringen, im Wasser nicht in derselben Richtung weiter; warum nähert sich ihre Richtung im Wasser der Senkrechten auf die Wasseroberfläche? Das Verhalten der eindringenden Partikelchen erklärt sich, wenn diese von den Molekülen des Wassers nicht abgestoßen, sondern angezogen werden, so daß sie im Wasser schneller vordringen als außerhalb desselben (als im luftleeren Raume oder auch in Luft). Newton nahm periodische

Anwandlungen der Lichtteilchen an, die es mit sich bringen sollen, daß zwischen letzteren und den Molekülen der Körper bald Abstoßung, bald Anziehung stattfinde, so daß die Teilchen teils abprallen (Reflexion), teils mit gesteigerter Geschwindigkeit in den Körper eindringen (Brechung). Die mit der Brechung verbundene Farbenzerlegung (Dispersion) des Lichtes, wie sie ein Glasprisma hervorbringt, konnte Newton nur mühsam durch künstliche Hilfshypothesen erklären. Trotzdem blieb seine Lehre lange vorherrschend, nicht nur weil sie an sich nahelag, sondern auch weil seine Autorität sie stützte. Seine Hypothese erschien aber unhaltbar, als Foucaults Messungen zeigten, daß die Lichtgeschwindigkeit im Wasser kleiner ist als in der Luft, nicht aber größer, wie Newtons Emissionstheorie zur Erklärung der Brechung annahm. Schließlich zeigte sich Newtons Lehre überhaupt nicht geeignet, alle Beobachtungen, auch die inzwischen neu hinzugekommenen, verständlich zu machen. Sie hatte von vorn herein ihre Schwächen; sie erklärt nicht, warum im leeren Raum alles Licht gleiche Geschwindigkeit hat, warum die Lichtteilchen trotz der Verschiedenheit der Lichtquellen stets mit gleicher Geschwindigkeit ausgestoßen werden.

Huyghens' Undulationstheorie.

Die Niederlage der Emissionstheorie bedeutete den Sieg der Undulationstheorie, der Schwingungs- oder Wellentheorie des Lichtes. Huyghens hatte diese bereits 20 Jahre vor der Veröffentlichung von Newtons Optik (1678) bekannt gegeben. Wie der Schall von schwingenden Körpern ausgeht, und wie sich diese Schwingungen dann der Luft mitteilen, um als Wellenbewegung bis zu unserem Ohre zu gelangen, so soll auch das Licht von Schwingungen herrühren und als eine Wellenbewegung in einem Substrat sich fortpflanzen, bis es vielleicht in unser Auge eindringt und eine Lichtempfindung entstehen läßt. Huyghens' Hypothese hat nach langer Zeit endlich volle Anerkennung gefunden. Sie gibt in der Tat eine befriedigende Erklärung für zahlreiche optische Erscheinungen, denen vielfach gleichartige Erscheinungen beim Schall an die Seite gestellt werden können. Das Licht wird wie die Wellenbewegung des Schalles zurückgeworfen (Spiegelung, Echo), gebrochen und ,,gebeugt", d. h. es geht um eine Kante herum, wenngleich dies beim Licht nicht ganz so leicht zu beobachten ist wie beim Schall. Besonders fallen die sogenannten Interferenzerscheinungen zugunsten der Undulationstheorie ins Gewicht. Sie beruhen darauf, daß sowohl Verstärkung wie auch Abschwächung (bzw. Auslöschung) eintreten kann, wenn Licht zu Licht kommt. Bestände das Licht aus stofflichen Partikelchen, so sollte man meinen, es müsse stets eine Summierung eintreten, wenn Licht zu Licht kommt. Ist aber das Licht ein Bewegungsvorgang, so wird sowohl die Verstärkung wie die Abschwächung erklärlich, weil gleich gerichtete Bewegungstendenzen sich verstärken, entgegengesetzt gerichtete sich abschwächen (bzw. aufheben). Auch bei der Wellenbewegung des Schalles gibt es Interferenzerscheinungen, Verstärkungen und Abschwächungen (bzw. Auslöschungen) beim Zusammenkommen der Wellen.

Die Analogien zwischen Licht und Schall lassen sich weiter ins einzelne verfolgen. Durch Interferenz können sowohl beim Licht wie beim Schall so-

genannte stehende Wellen sich bilden, die bei einem Verfahren der Farbenphotographie bzw. bei Musikinstrumenten eine Rolle spielen. Während es für die Emissionstheorie eine schwierige Frage bedeutet, warum im „leeren“ Raume alles Licht gleiche Geschwindigkeit hat, ist dies für die Undulationstheorie leicht zu verstehen; die längeren oder kürzeren Wellen, welche verschiedene Schallquellen aussenden, pflanzen sich im gleichen Medium, in Luft, gleich schnell fort.

Hier können nicht alle die Vorzüge und Leistungen der Undulationstheorie erwähnt werden. Ihr Sieg über die Emissionstheorie wurde durch die Foucaultsche Messung der Lichtgeschwindigkeit in Wasser entschieden. Nach der Wellentheorie muß sich das Licht im Wasser langsamer fortpflanzen als in der Luft; dieser Forderung entsprachen Foucaults Beobachtungen.

Der Lichtäther.

Die Schallwellen stellen Bewegungen eines Stoffes, etwa der Luft oder des Wassers, dar. So muß die Huyghenssche Theorie auch ein Substrat annehmen, an dem und in dem sich die Lichtwellen fortpflanzen. Man könnte zunächst meinen, dies Substrat der Lichtbewegungen sei die Luft, das Wasser, das Glas usw., je nachdem sich das Licht eben in Luft, Wasser oder Glas usw. fortpflanzt. Diese Annahme ist aber unhaltbar. Im luftleeren Raume pflanzt sich ja das Licht am besten fort; das Substrat jener Wellenbewegung muß also den „leeren“ Raum ausfüllen, muß uns mit den fernsten Sternen verbinden, die im Riesenfernrohr sichtbar werden. Wir nennen dies Substrat Lichtäther. Es ist nicht anzunehmen, daß ein Luft durchdringender Lichtstrahl diese Luft zum Träger habe, weil das Licht sich im lufterfüllten Raume fast genau so bewegt wie im luftleeren Raume; in letzterem ist die Lichtgeschwindigkeit nur 1,0009 mal größer. Da liegt der Gedanke nahe, daß auch im lufterfüllten Raume der Äther der Träger des Lichtes sei; zwischen den Luftmolekülen bleibt ja Raum für ihn. Und beim Lichtdurchgang durch Wasser oder Glas könnte es ebenso sein. Da ist zwar die Lichtgeschwindigkeit erheblich geringer; in Wasser ist sie auf etwa $^3/_4$, in Glas auf etwa $^2/_3$ reduziert. Doch wird man in der Auffassung, daß das Licht nicht eine Wellenbewegung gewöhnlicher Materie (wie der Luft, des Wassers, des Glases) darstelle, sehr bestärkt, wenn man den ungeheuer großen Wert der Lichtgeschwindigkeit berücksichtigt. Das Licht durcheilt im „leeren“ Raum oder in Luft in der Sekunde etwa 300000 km. Demgegenüber sind die Geschwindigkeiten, mit der sich Wellenbewegungen gewöhnlicher Stoffe fortpflanzen, sehr klein. Schallwellen durchlaufen in der Sekunde in Luft nur etwa 330 m, in Wasser 1400 m, in Eisen 3500 m. Der sehr bedeutende Unterschied zwischen der Geschwindigkeit von Lichtwellen und von Schallwellen führt zu der Annahme, daß die ersteren von einem ganz anderen Medium getragen werden als die letzteren, daß Luft, Glas und andere gewöhnliche Stoffe nicht die Substrate der Lichtwellen sein können.

Die Schallschwingungen und Schallwellen beruhen auf der Elastizität der tönenden und Ton-fortpflanzenden Körper; eine Stimmgabel wird durch die Elastizität ihres Stahlmaterials zu Tonschwingungen befähigt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles wächst mit der Elastizität des fortpflanzenden

Mediums. Sie hängt ferner von dessen Dichte ab; je größer die Dichte, um so geringer die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Wir wollen nun einmal annehmen, daß auch die Wellen des Lichtäthers auf dessen elastischen Kräften beruhen, und daß die Lichtgeschwindigkeit in gleicher Weise wie die Schallgeschwindigkeit durch die Elastizität und die Dichte des fortpflanzenden Mediums bestimmt wird. Dann ergibt sich, daß in Anbetracht des sehr hohen Wertes der Lichtgeschwindigkeit die Elastizität des lichttragenden Mediums ungemein viel größer oder seine Dichte ungemein viel kleiner sein muß als die Elastizität bzw. die Dichte der gewöhnlichen, schalleitenden Stoffe (Luft, Wasser, Eisen usw.). Es könnten auch enorme Elastizität und minimale Dichte zusammenwirken, um die hohe Lichtgeschwindigkeit zustande kommen zu lassen; diese Auffassung, die den erstaunlich großen Wert der letzteren auf das Zusammenkommen zweier Umstände zurückführt, hätte sicherlich etwas für sich.

Wir gelangen also zu dem Ergebnis, daß das Medium des Lichtes sehr viel elastischer oder dünner oder elastischer und dünner sein muß als alle gewöhnlichen Stoffe. Diese können nicht die eigentlichen Träger der Lichtwellen sein. Als Substrat des Lichtes kann nur ein Stoff fungieren, der sich von den gewöhnlichen Stoffen durch seine Elastizität bzw. Dichte gewaltig unterscheidet. Die Annahme eines einzigen derartigen Stoffes, eines Lichtäthers, scheint zu genügen. Derselbe Äther, der das Licht im von gewöhnlicher Materie freien („leeren") Raume fortpflanzt, kann auch die Lichtwellen in Luft, Wasser usw. tragen, indem er den Raum zwischen den Molekülen solcher gewöhnlichen Stoffe füllt. Wenn das Licht in Luft, Wasser usw. eine geringere Geschwindigkeit hat als im „leeren", nur mit Äther gefüllten Raume (im „freien Äther"), so erklärt sich dies daraus, daß der Äther zwischen den Molekülen der gewöhnlichen Stoffe eine veränderte Beschaffenheit hat. Er könnte etwa innerhalb der gewöhnlichen Körper eine größere Dichte haben, wie Fresnel annahm, oder eine geringere Elastizität, wie F. Neumann meinte; beides würde die Verringerung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und somit die Brechung des Lichtes erklären.

Longitudinal- und Transversalwellen.

Es gibt zwei wesentlich verschiedene Arten von auf der Elastizität des fortpflanzenden Mediums beruhenden Wellenbewegungen. Sie unterscheiden sich durch die Schwingungsrichtung der von der Bewegung ergriffenen Teilchen. Bei einer die Luft durcheilenden Schallwelle schwingen die Luftteilchen in der Richtung, in der sich der Schall fortpflanzt. Bei anderen Wellen, wie sie etwa an einem gespannten Seil, an einer Saite oder einem elastischen Stab entstehen können, steht die Richtung der Wellenschwingung senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung. Man unterscheidet demnach longitudinale Wellen, wie sie bei dem in Luft sich fortpflanzenden Schalle vorliegen, und transversale Wellen. Es bleibt zu fragen, zu welcher Art von Wellen die Lichtbewegung gehört.

Die Analogien zwischen Licht und Schall legen zunächst die Annahme nahe, daß auch die Lichtwellen longitudinal seien. Das war denn auch die Ansicht von Huyghens. Wie die Longitudinalwellen des Schalles sich in Luft fortpflanzen, so könnten sich auch die Longitudinalwellen des Lichtes in einem gasartig zu denkenden Äther fortpflanzen. Doch müßte dieser gasartige Äther viel

feiner sein als die gewöhnlichen Gase; der Äther muß fein genug sein, um zwischen den Molekülen des Glases etwa existieren zu können, um den Planeten bei ihrem Lauf um die Sonne keinen merklichen Widerstand entgegenzusetzen.

Polarisation des Lichtes. Die Lichtwellen sind transversal.

Die Annahme einer longitudinalen Lichtbewegung wurde hinfällig durch die Beobachtung der Polarisationserscheinungen. Huyghens hatte schon 1678 Polarisationsphänomene entdeckt. Doch kam erst nach 130 Jahren durch Beobachtungen von Malus die Erforschung der Polarisation des Lichtes in rechten Fluß. Fresnel und Arago erklärten dann die Polarisationserscheinungen durch die Hypothese, daß die Lichtwellen nicht longitudinal, sondern transversal sind. In der Tat wird man zu dieser Auffassung gedrängt. Senden wir etwa Licht, das unter einem bestimmten Winkel (Einfallswinkel von 56^0) von einer Glasplatte zurückgeworfen worden ist, durch eine geeignete Turmalinplatte oder durch ein sogenanntes Nicolsches Prisma! Wenn wir die Turmalinplatte oder den Nicol um eine Achse drehen, die dem Lichtstrahl parallel ist, so sehen wir, daß das Licht durch beide bei einer bestimmten Stellung am besten hindurchgeht, daß es aber nicht hindurchgeht bei einer anderen Stellung, die aus der ersteren durch Drehung um 90^0 sich ergibt. Der an der Glasplatte reflektierte und dadurch „polarisierte" Lichtstrahl weist also eine wechselnde Durchdringungsfähigkeit gegenüber einer Turmalinplatte auf, wenn diese ihre Stellung zu dem Lichtstrahl ändert, wenn sie gedreht wird um eine zum Lichtstrahl parallele Achse, also in einer zum Strahl senkrechten Ebene. Der polarisierte Lichtstrahl selbst muß mithin verschieden beschaffen sein in verschiedenen zu ihm senkrechten Richtungen. Verdeutlichen wir dies an einem konkreten Beispiel! Kommt der Lichtstrahl von hinten nach vorn, so geht er vielleicht durch eine längliche Turmalinplatte, deren Längsrichtung senkrecht steht, gut hindurch, während er von derselben Platte zurückgehalten wird, wenn ihre Längsrichtung horizontal von links nach rechts liegt. Da muß doch der von hinten nach vorn gehende polarisierte Strahl verschieden beschaffen sein in der Richtung Oben-Unten und in der Richtung Links-Rechts.

Bei einem longitudinalen Wellenstrahl ist das aber nicht der Fall. Da die Teilchen bei ihm in der Strahlrichtung schwingen, ist der Strahl nach allen zu ihm senkrechten Richtungen gleich beschaffen, ebenso wie eine gerade Linie. Anders dagegen bei einem transversalen Wellenstrahl. Betrachten wir z. B. ein von hinten nach vorn gespanntes Seil. Wir können in ihm transversale Wellen erzeugen, indem wir das eine, etwa in der Hand gehaltene Seilende auf und ab schwingen. Diese Schwingung pflanzt sich längs des Seiles fort als transversale Welle. Dabei erfolgt die Bewegung der Seilteilchen immer in senkrechter Richtung. Das schwingende Seil hat daher andere Eigenschaften in der Richtung Oben-Unten als in der Richtung Links-Rechts. Es könnte z. B. seine Schwingungen unbehindert fortleiten, wenn es durch einen Rahmen mit senkrecht gespannten Drähten hindurchführte; würde dieser Rahmen aber (wie der Turmalin) um 90^0 gedreht, so daß die Drähte horizontal von links nach rechts gingen, so würden sie die senkrechten Transversalwellen des Seiles hemmen. Ein solcher mit parallelen Drähten bespannter Rahmen würde sich also zu den

transversalen Seilwellen ähnlich verhalten wie eine Turmalinplatte zu den Lichtwellen. Man wird daher annehmen, daß die Lichtwellen Transversalwellen sind, weil eben transversale Wellen im Gegensatz zu longitudinalen die Besonderheit aufweisen, in verschiedenen zum Wellenstrahl senkrechten Richtungen verschiedene Eigenschaften zu zeigen.

Das sogenannte natürliche Licht, wie es z. B. von einer Kerze ausgeht, weist allerdings im Unterschied vom polarisierten jene Verschiedenheit nicht auf. Doch läßt sich ein Strahl natürlichen Lichtes in polarisierte Strahlen zerlegen. Man kommt so zu der Auffassung, daß das natürliche Licht unserer gewöhnlichen Lichtquellen (das blaue Himmelslicht ist übrigens teilweise polarisiert!) eine zusammengesetzte Beschaffenheit hat. Die Schwingungsrichtung der Licht-aussendenden Teilchen bleibt nicht immer dieselbe, sondern wechselt mit der Zeit, und die verschiedenen Teilchen schwingen in verschiedenen Richtungen. Darum herrscht in einem natürlichen Lichtstrahl keine Schwingungsrichtung vor; jene Verschiedenheit der Eigenschaften in verschiedenen, zum Strahl senkrechten Richtungen, die das polarisierte Licht charakterisiert, kann daher beim natürlichen Licht nicht beobachtet werden. Das natürliche Licht ist aus zahlreichen und wechselnden polarisierten Wellenzügen zusammengesetzt.

Wir kommen so zu dem Ergebnis, daß das Licht eine transversale Wellenbewegung darstellt; d. h. die Wellenschwingungen stehen senkrecht auf der Strahlenrichtung (das gilt wenigstens unter einfachen Verhältnissen; allgemein wäre zu sagen: senkrecht auf der Normalen zur Wellenfläche; diese Normale fällt nicht immer mit dem Strahl zusammen).

Paradoxe Konsequenzen bezüglich der Eigenschaften des Äthers.

Daraus ergeben sich aber seltsame Konsequenzen bezüglich der Eigenschaften des Äthers. Dieser würde nach seinem Verhalten einerseits etwa als ein äußerst feines Gas aufzufassen sein, da er der Bewegung der gewöhnlichen Körper keinen merklichen Widerstand entgegensetzt, da er die Zwischenräume zwischen den Molekülen durchdringt; er kann aus einem Gefäß nicht herausgepumpt werden wie die Luft, so daß man annehmen muß, daß auch eine luftdichte Pumpe keineswegs ätherdicht ist, daß der Äther vielmehr durch Poren, etwa durch die intermolekularen Zwischenräume, auch in ein luftdicht abgeschlossenes Gefäß eindringen kann. Wenn man nach alledem geneigt sein würde, den Äther als einen gasartigen Stoff aufzufassen, der nur noch viel feiner als die Luft, als die gewöhnlichen Gase sein müßte, so fordert andererseits die Annahme, daß die Lichtwellen transversale Elastizitätswellen darstellen, eine ganz andere Auffassung bezüglich des Äthers. Transversale Elastizitätswellen treten in Gasen nicht auf; sie fordern ein fortpflanzendes Medium, dessen Teilchen nicht so frei und leicht durcheinander beweglich sind, wie es bei Gasen und Flüssigkeiten der Fall ist. Sollen transversale Elastizitätsschwingungen möglich sein, so müssen die Teilchen durch Elastizitätskräfte in einer bestimmten Lage gehalten, bzw., wenn aus dieser ein wenig entfernt, in sie zurückgetrieben werden, wie es bei elastischen festen Körpern der Fall ist. In solchen sind transversale Wellen, z. B. transversale Schallwellen, möglich. Der Äther müßte also einem festen Körper vergleichbar sein. Dabei müßte er sehr geringe Dichte oder sehr

hohe Elastizität oder beides besitzen, um die ungemein große Lichtgeschwindigkeit zu ermöglichen. Diejenigen gewöhnlichen Körper, die die geringste Dichte haben, sind aber gasförmig und nicht fest. Freilich finden wir bei festen Körpern starke elastische Kräfte (hohe Formelastizität — diese kommt speziell für Transversalwellen in Betracht —), z. B. beim Stahl. Doch müßten diese Kräfte beim Äther wegen der Größe der Lichtgeschwindigkeit wohl noch viel größer sein, d. h. der Äther müßte die Besonderheit der festen Körper (die Formelastizität) in besonders hohem Maße besitzen.

Man hat versucht, die Gasnatur des Äthers zu retten und die Möglichkeit von Transversalwellen in ihm auf auch in Gasen vorkommende reibungsartige Vorgänge zurückzuführen, jedoch ohne Erfolg. Man kommt also zu dem paradoxen Ergebnis, daß der Äther sich einerseits zwar wie ein äußerst feines Gas, welches der Bewegung der Körper keinen merklichen Widerstand entgegensetzt, andererseits aber wie ein besonders fester Körper verhalte. Man muß Forderungen an den Äther stellen, deren Vereinigung nicht wohl angängig erscheint. Es gibt allerdings Stoffe, deren Widerstand gegen den Durchgang bewegter Körper nicht gerade sehr groß ist, und die doch transversale Elastizitätsschwingungen ermöglichen, die gelatinösen Substanzen; aber mit ihnen kann der Äther doch kaum verglichen werden. Ihr Widerstand gegen den Durchgang eines bewegten Körpers durch ihre Masse ist immerhin erheblich, keineswegs aber unmerklich, während der Äther die Lufthülle unserer Erde durch sich hindurcheilen läßt, ohne sie zurückzuhalten. Jene Substanzen nehmen eben eine vermittelnde Stellung zwischen zwei Aggregatzuständen, dem festen und dem flüssigen, ein, während der Äther Eigenschaften der extremen Aggregatzustände, des festen und des gasförmigen, in extremster Ausprägung vereinigen sollte.

Man kann die vorliegende Schwierigkeit durch die sich einer gewissen Beliebtheit erfreuende Annahme zu beseitigen suchen, daß die Bausteine der gewöhnlichen Körper gar nicht besondere Dinge im Äther sind, sondern lediglich lokale Modifikationen des Äthers darstellen. Ein solcher Baustein wäre ein Punkt oder kleiner Raumteil, in dem der Äther eine besondere Beschaffenheit angenommen hat. Man müßte jenen lokalen Modifikationen im Äther dauernde Existenz zuschreiben, wie sie den Bausteinen der Materie zuzukommen scheint. Die Bewegung eines Körpers wäre dann eine Wanderung solcher lokaler Modifikationen durch den Äther hindurch; so könnte man sich schon eher vorstellen, daß erstere ohne Reibungswiderstand möglich ist.

Allerdings kommt dann der Äther in ein ganz anderes Verhältnis zu der gewöhnlichen Materie. Er ist nicht mehr einfach ein anderer Stoff neben ihr, sondern ihre Grundsubstanz. Die Elastizität, die wir bei der gewöhnlichen Materie kennen, beruht auf Wechselwirkungen zwischen den Bausteinen derselben, also zwischen modifizierten Ätherteilchen; sie auch dort dem Äther zuzuschreiben, wo solche lokalen Modifikationen nicht vorhanden sind, erscheint gewagt. Die einfachste Grundlage der Hypothese, daß das Licht in Elastizitätswellen bestehe, die Analogie zu den Schallerscheinungen, verliert an Kraft,

wenn das Medium der Lichtwellen demjenigen der Schallwellen, etwa der Luft, nicht mehr so einfach koordiniert werden kann.

Wie man auch über die angedeutete Zurückführung der Materie auf den Äther denken mag, der letztere muß jedenfalls sehr wesentlich von der ersteren verschieden sein. Die Durchführung der Hypothese, daß das Licht eine transversale Elastizitätswellenbewegung darstellt, setzt voraus, daß der Äther nicht zusammendrückbar ist. Sonst müßten in ihm auch Longitudinalwellen auftreten, die aber trotz vielen Suchens nie gefunden wurden. Zur Erklärung des Fehlens der Longitudinalwellen könnte man auch annehmen, die Zusammendrückbarkeit des Äthers sei eine unendlich große. Aber diese Annahme scheint noch weniger brauchbar als die einer fehlenden bzw. unendlich kleinen Zusammendrückbarkeit. Alle gewöhnlichen Stoffe zeigen eine endliche, kleinere oder größere Zusammendrückbarkeit; die festen und flüssigen sind sehr wenig, die gasförmigen viel stärker zusammendrückbar (so daß man Hunderte von Litern Kohlensäure z. B. in eine kleine Stahlflasche zusammenpressen kann). Auch insofern erscheint ein inkompressibler oder nur unendlich wenig zusammendrückbarer Äther den festen Körpern zwar noch eher vergleichbar als den Gasen, jedoch auch von ersteren sehr wesentlich verschieden. Nach unseren molekulartheoretischen Anschauungen wird die Elastizität dadurch möglich, daß die Bausteine der Stoffe nicht fest ineinandergefügt sind wie die Ziegel in einer Mauer, sondern einen gewissen Spielraum haben; man sollte also ähnliche Strukturverhältnisse auch beim elastischen Äther vermuten. Auf jenem Spielraum beruht auch die Zusammendrückbarkeit der Stoffe; man begreift darum schwer, warum der Äther, dessen Elastizität doch auch Spielraum seiner Bausteine vermuten läßt, unzusammendrückbar erscheint. Und doch spricht es vom Standpunkte der Elastizitätswellenhypothese sehr für die Inkompressibilität, daß im Äther keine Longitudinalwellen nachweisbar sind; in solchen Wellen, wie z. B. in den Schallwellen der Luft, wird das Medium abwechselnd zusammengepreßt und verdünnt; Longitudinalwellen sind darum nur in kompressibeln Medien möglich. Ihr Fehlen im Äther spricht also für Inkompressibilität, so seltsam diese Eigenschaft auch erscheinen mag.

Inkompressibilität des Äthers.

Lassen wir aber einmal alle diese Bedenken beiseite, nehmen wir also an, daß der Äther einerseits der Bewegung der gewöhnlichen Körper keinen merklichen Widerstand biete, daß er andererseits (obgleich inkompressibel) eine (Form-) Elastizität besitze, die derjenigen der festen Körper vergleichbar ist! Dann ergibt sich ein weiteres Bedenken. Die Ätherwellen müssen angeregt werden durch Schwingungen der Bausteine der leuchtenden Körper. Wenn aber schon die ganzen Körper ohne merklichen Widerstand im Äther sich bewegen, dann werden auch wohl ihre Bausteine im Äther sich bewegen, schwingen können, ohne in ihm auf Widerstand zu stoßen. Wenn jedoch ein Körper in einem Medium durch seine Schwingungen Elastizitätswellen hervorruft, dann müssen die Schwingungen im Medium auf Widerstand stoßen; die Teilchen des Mediums müssen eben in Mitbewegung versetzt werden, und dieser widersetzen sich sowohl die Massenträgheit wie die Elastizitätskraft des Mediums. Diese

Widerstände müßten auch im Äther sich der Bewegung der lichtaussendenden Teilchen widerssetzen; insbesondere käme wohl die Elastizität des Äthers in Betracht. Wir kommen so zu dem seltsamen Ergebnis, daß die gewöhnlichen Körper ohne merklichen Widerstand sich durch den Äther bewegen, daß aber ihre winzigen Bausteine in ihm den bei Wellenerregung notwendigen Widerstand finden.

Die Hypothese, daß die Lichterscheinungen auf transversalen Elastizitätswellen eines elastischen, etwa atomistisch aufgebauten Äthers beruhen, stößt also auf große Schwierigkeiten. Ihre natürlichste Grundlage, die Analogie zwischen Lichterscheinungen und Schallphänomenen, verliert an Kraft, wenn man bei genauerem Zusehen erkennt, wie beträchtlich verschieden die Verhältnisse doch liegen. Andere Schwierigkeiten kommen hinzu. Die Frage, in welcher Richtung der Äther in einem bestimmten polarisierten Lichtstrahl schwingt, wurde von zwei einander gegenüberstehenden und wesentlich gleichwertig erscheinenden Ausgestaltungen der Elastizitätswellenhypothese (von Fresnel und von F. Neumann) in verschiedenem Sinne beantwortet. Wir brauchen auf diese Streitfrage, der außerordentlich viel Arbeit gewidmet worden ist, ohne daß man zu einer Entscheidung gelangte, bis die Frage schließlich durch die elektromagnetische Lichttheorie erledigt erschien, nicht einzugehen. Andere Schwierigkeiten treffen die Annahme eines Lichtäthers im allgemeinen, nicht speziell die Ätherauffassung, zu welcher die Elastizitätswellenhypothese des Lichtes führt. Sie kommen besser später zur Sprache, wenn die Ätherauffassung der Gegenwart zur Diskussion steht. Hier genügte der Nachweis, daß die Ätherauffassung der Elastizitätswellenhypothese des Lichtes, d. h. die ältere und nächstliegende, durch einfache Analogien so natürlich sich ergebende Ätherannahme, doch sehr bedenkliche Schwierigkeiten in sich birgt.

Die elektromagnetische Lichttheorie und ihre Ätherlehre. Die Entwicklung der Physik hat über diese Schwierigkeiten hinausgeführt, indem sie an die Stelle der Elastizitätswellentheorie die elektromagnetische Lichttheorie setzte. Wir müssen letztere kennen lernen, um dann ihre Konsequenzen für die Ätherhypothese, überhaupt für die Auffassung des „leeren" Raumes, des Vakuums, wie man kurz sagt, zu würdigen.

Zur Vorbereitung auf die elektromagnetische Lichttheorie sei zunächst darauf hingewiesen, daß es Strahlen gibt, die den Lichtstrahlen im wesentlichen durchaus gleichartig sind, die aber in unserem Auge keinen Lichteindruck hervorrufen. Etwas Entsprechendes gibt es übrigens auch bei Luftwellen; nur Luftwellen, deren Länge sich zwischen gewissen Grenzen hält, werden von unserem Ohr wahrgenommen; allzu lange und allzu kurze Wellen rufen keine Tonempfindung hervor, obwohl sie den Schallwellen ganz gleichartig sind. So gibt es auch den Lichtstrahlen gleichartige Strahlen, die für unser Auge nicht leuchten. Die Wellentheorie des Lichtes führt zu dem Ergebnis, daß diese Strahlen auch entweder zu lange oder zu kurze Wellen haben. Nur Wellen, deren Längen sich innerhalb gewisser Grenzen halten, werden als Licht empfunden; die längsten als (rotes) Licht wahrgenommenen Wellen sind noch nicht $^{8}/_{10000}$ mm (0,8 μ)

lang; die Länge der kürzesten als (violettes) Licht empfundenen Wellen liegt etwas unter $^4/_{10\,000}$ mm. (Das gilt für Wellen in Luft; in Wasser oder Glas sind die entsprechenden Wellenlängen kleiner.) — Alle Lichtwellen könnten wir auch als Wärmewellen bezeichnen; der Lichtstrahl ist zugleich ein Wärmestrahl; er wird von der Haut ev. als erwärmend empfunden. Über 0,8 μ lange, im übrigen aber ganz gleichartige Wellen werden zwar nicht mehr als Licht, jedoch als strahlende Wärme empfunden; sie werden als ultrarot bezeichnet. Wellen, welche zu kurz sind, um Lichtempfindungen zu erzeugen, (sogenannte ultraviolette Strahlen,) verraten sich z. B. durch ihre chemischen Wirkungen auf die photographische Platte und durch schwache Wärmewirkungen.

Wesensgleichheit von elektrisch-magnetischen und Lichtstrahlen.

Die elektromagnetische Lichttheorie besagt nun, daß ultraviolette Strahlen, Lichtstrahlen und ultrarote Strahlen von gleicher Natur sind wie Strahlen, welche von schwingender Elektrizität ausgesandt werden. Alle die genannten Strahlen werden nach dieser Theorie von schwingender Elektrizität hervorgerufen; ein Teil der Strahlen wirkt auf unser Auge; das sind eben die gewöhnlichen Lichtstrahlen. Ein anderer Teil der Strahlen wird nicht als Licht wahrgenommen. Diese dunkeln Strahlen sind teils ultrarote, deren Wärmewirkung von der Haut leicht wahrgenommen wird; teils sind sie ultraviolett; teils handelt es sich um elektrische Wellen, wie sie bei der drahtlosen Telegraphie Anwendung finden.

Daß alle diese Strahlen von gleicher Natur sind, geht aus den Übereinstimmungen in ihrem Verhalten hervor. Nicht nur die Lichtstrahlen, sondern auch die ultravioletten, die ultraroten und die elektrisch-magnetischen Strahlen unterliegen der Reflexion, der Brechung, der Interferenz, der Polarisation. Sehr zahlreiche optische Phänomene kann man mit elektrisch-magnetischen Strahlen nachahmen; nur erscheint dabei alles ungemein vergrößert.

Neuerdings gilt es als sichergestellt, daß auch die Röntgenstrahlen wesentlich gleichartig mit den Lichtstrahlen sind. Die Beugung bzw. Interferenz der Röntgenstrahlen beim Durchgang durch Kristalle, die seit Laues Versuchen bereits gründlich studiert worden ist, entspricht optischen Interferenzerscheinungen. Die Polarisation der Röntgenstrahlen wurde von Barkla und von Baßler nachgewiesen. Nach Marx ist die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen wahrscheinlich gleich derjenigen des Lichtes. Außerdem gibt es noch eine Reihe von anderen Analogien zwischen Röntgen- und Lichtstrahlen (selektive Absorption, Elektronenemission unter dem Einfluß der beiden Strahlungen, wahrscheinlich auch Beugung an engem Spalt; bekannt ist die chemische Wirkung der Röntgenstrahlen und des Lichtes auf die photographische Platte). Die Wellenlänge der Röntgenstrahlen beträgt etwa $^1/_{10\,000}$ der Wellenlänge des Lichtes. Die Röntgenstrhlen, zu denen auch die γ-Strahlen des Radiums gerechnet werden können, sind also sozusagen äußerst kurzwellige ultraviolette Strahlen.

Daß die elektrisch-magnetischen Strahlen den ultraroten, den Licht-, den ultravioletten und den Röntgenstrahlen verwandter sind als etwa den Schallwellen, geht schon aus dem Vorhandensein von Polarisationserscheinungen bei

den ersteren hervor, die bei den longitudinalen Schallwellen fehlen. Die elektrisch-magnetischen Strahlen gehen geradeso wie Licht-, ultrarote, ultraviolette und Röntgen-Strahlen ungestört durchs Vakuum hindurch, was der von der gewöhnlichen Materie getragene Schall nicht tut; dabei haben die elektrisch-magnetischen, ultraroten, Licht- und ultravioletten Strahlen alle die gleiche, gewaltige Geschwindigkeit von 300000 km pro sec. Unter diesen Umständen kann an ihrer Wesensgleichheit nicht gezweifelt werden.

Soweit wir nun die Natur der elektrisch-magnetischen Strahlung kennen, haben wir auch Einsicht in die Natur des Lichtes, der ultraroten und ultravioletten Strahlen. Bei den elektrisch-magnetischen Strahlen aber wissen wir wenigstens, wie sie angeregt werden, während diese Frage bei den Lichtstrahlen zu bedenklichen Schwierigkeiten führte, solange wir an der Elastizitätswellentheorie und ihren seltsamen Äthereigenschaften festhielten. Die elektrisch-magnetischen Strahlen gehen von rasch hin und her schwingender Elektrizität aus. Also werden auch die Lichtstrahlen von oszillierenden Elektrizitätsmengen ausgehen. Die auf Faradaysche Vorstellungen sich gründende, von Maxwell theoretisch durchgeführte, von Hertz (1888) auch experimentell bewährte elektrische Lichtauffassung hat eine schöne Bestätigung erfahren durch die bereits besprochenen Zeeman- und Stark-Phänomene. In ihnen zeigt sich eine Beeinflussung der Lichtaussendung durch magnetische bzw. elektrische Kräfte, die nur verständlich wird, wenn die Lichtstrahlen von schwingenden negativ elektrischen Ladungen ausgehen.

An der Wesensgleichheit der elektrisch-magnetischen Strahlen mit den Licht-, ultraroten und ultravioletten Strahlen wird man nicht leicht mehr zweifeln. Wir haben aber nun zu fragen, welcher Art denn die Natur aller dieser Strahlen ist. Sie gehen aus von oszillierenden Elektrizitätsmengen, etwa Elektronen; aber welcher Art ist dies Etwas, das da ausgestrahlt wird durch den „leeren Raum“?

Wir können elektrische Ladungen, auch in schwingendem Zustande, leicht herstellen und mit ihnen experimentieren, während die einzelnen Licht aussendenden Teilchen sich wegen ihrer Kleinheit der Beobachtung entziehen. Wenn wir prüfen, was von schwingenden elektrischen Ladungen ausstrahlt, bearbeiten wir zugleich die Frage nach der Natur des Lichtes; die Lehre vom Licht ist zu einem Teile der Elektrizitätslehre, sozusagen zu einer Anwendung der letzteren, geworden.

An einem „leeren Raume“ ist keinerlei Veränderung wahrzunehmen, wenn wir ihn in der Nähe einer ruhenden oder bewegten elektrischen Ladung betrachten. Die wahrnehmbaren Wirkungen, die von ruhender oder bewegter Elektrizität ausgehen, vollziehen sich an gewöhnlichen Körpern, z. B. an Korkkügelchen oder Magnetnadeln. Das gilt auch von denjenigen Wirkungen oszillierender Ladungen, die wir als Lichterscheinungen wahrnehmen; an einem Vakuum, das zwischen einer Lichtquelle und einem vom Licht irgendwie beeinflußten Körper sich befindet, ist keine Veränderung zu merken.

Theorie der unmittelbaren Fernwirkung der Elektrizität.

Wenn die Verhältnisse aber so liegen, ist dann nicht die Annahme berechtigt, daß in einem Vakuum, welches etwa zwischen einer Absendestation und einer Aufnahmestation für drahtlose Telegraphie sich befindet, nichts ist noch geschieht, während telegraphiert wird? Die elektrischen Oszillationen in der Absendestation wirken vielleicht unmittelbar über die Entfernung, über das Vakuum hinweg auf die Apparate der Empfangsstation; es handelt sich vielleicht um unvermittelte Fernwirkungen. Beim Licht aber müßten die Verhältnisse ebenso liegen, da auch das Leuchten auf elektrischen Schwingungen beruht, ebenso wie das Zeichengeben bei der drahtlosen Telegraphie. Wir sind zwar geneigt, uns vorzustellen, daß etwas von der Sonne her den leeren Raum bis zur Erde durchwandert, wenn jene uns leuchtet. Aber da von dem wandernden Etwas im leeren Raume gar nichts zu merken ist, scheint es einfacher, anzunehmen, daß die leuchtende Sonne unmittelbar über die Entfernung hinweg auf die Erde wirkt.

Die Auffassung, daß elektrische Schwingungen unmittelbar über ein Vakuum hinwegwirken, ohne daß in diesem ein vermittelndes Geschehen stattfände, würde der früheren Lehre entsprechen, die unbedenklich elektrische Fernwirkungen annahm. Später kam, durch Faraday eingeführt und durch Maxwell und seine Nachfolger ausgestaltet, die entgegengesetzte Ansicht zur Geltung, nach welcher es elektrische Fernwirkungen nicht gibt. Alle scheinbaren elektrischen Fernwirkungen galten als durch den Äther vermittelte Effekte. Beim Licht, das ja nach der Maxwellschen Auffassung auch unter die elektrischen Erscheinungen gehört, war man ohnehin daran gewöhnt, Übertragung durch den Äther anzunehmen. So schien — bis in die jüngste Zeit — die Ablehnung der Fernwirkungstheorie besiegelt.

Gründe gegen die Annahme unmittelbarer elektrischer Fernwirkungen.

Prüfen wir nunmehr, was gegen sie spricht. Zunächst steht ihr eine gewisse Abneigung gegen jede Annahme von Fernwirkungen im Wege. Der Gedanke ist uns befremdlich, daß ein Ding da wirken solle, wo es gar nicht ist. Diese Abneigung beruht indessen nicht auf durchschlagenden Gründen, sondern auf den vagen Erfahrungen des täglichen Lebens. In der groben Erfahrung des täglichen Lebens drängen sich uns immer wieder Berührungswirkungen, nicht aber Fernwirkungen auf. Bei der täglichen Arbeit wirkt der Spaten, indem er unmittelbar den Boden berührt, und ebenso wirken die Sichel, der Hammer, wie auch die Hand, der Zahn oder das Wasser, der Wind usw. dort, wo sie sind. So entsteht in uns eine Neigung zu der Ansicht, daß es nur Berührungswirkungen in der Natur gibt, daß Ursache und Wirkung in unmittelbarem räumlichem Zusammenhang stehen müssen. Indessen könnte die verfeinerte Erfahrung der Wissenschaft die natürliche Abneigung gegen die Annahme unmittelbarer Fernwirkungen als verfehlt erweisen. Wir lehnen uns zunächst auch gegen die Einsicht auf, daß es Antipoden gebe, Menschen auf der anderen Seite der Erde, die uns die Fußsohlen zuwenden. Jedenfalls ist es noch nicht befriedigend gelungen, die zum mindesten scheinbare Fernwirkung der Gravitation, die unsere Erde an die Sonne fesselt, auf Berührungswirkungen zurückzuführen.

Es gibt aber bedeutsamere Gründe gegen den Fernwirkungscharakter der

Effekte elektrischer Schwingungen. Vor allem ist der Tatsache zu gedenken, daß die Wirkung einer elektrischen Schwingung (oder eines Aufleuchtens, was ja wesentlich auf das gleiche hinausläuft) auf ein entferntes Objekt nicht sofort einsetzt, sondern erst nach einer gewissen, mit der Entfernung wachsenden Zeit. Da hat man doch leicht den Eindruck, daß von der elektrischen Schwingung aus ein Etwas durch den Raum sich fortbewegt, um erst nach einer gewissen Zeit an dem entfernten Objekt anzukommen. Freilich wäre es auch denkbar, daß die unmittelbare Fernwirkung erst eine gewisse Zeit nach der Ursache einsetzt, die um so größer ist, je größer der räumliche Abstand zwischen Ursache und Wirkung ist. Mit der gewöhnlichen Auffassung des Kausalverhältnisses, nach welcher die Wirkung unmittelbar, ohne Zeitabstand, der Ursache folgt, wäre die Annahme allerdings nicht verträglich. Aber diese Auffassung des Kausalverhältnisses ist unbewiesen und unbeweisbar. Jedenfalls bliebe die Gesetzmäßigkeit des Geschehens durchaus gewahrt, wenn auf die elektrische Schwingung hin erst nach einer bestimmten, von der Entfernung abhängigen Zeit ein nicht durch Zwischenvorgänge vermittelter Vorgang in einem fernen Objekt einträte.

Immerhin wird man nicht ohne Not die bewährte Auffassung, daß die Wirkung unmittelbar auf die Ursache folgt, fallen lassen. Dann müssen aber vermittelnde Vorgänge angenommen werden.

Schatten. Einfluß des Mediums auf die scheinbaren Fernwirkungen.

Für die Annahme solcher vermittelnden Vorgänge, die etwa durch das Vakuum hindurch von den elektrischen Schwingungen (bzw. der Lichtquelle) aus zu dem Objekte hinwandern, an dem die Wirkung sichtbar wird, spricht die Möglichkeit der Abblendung, des Schattens. Die Sonne leuchtet; an der Erde wird die Wirkung sichtbar; aber wenn der Mond dazwischen tritt, hört diese Wirkung auf die Erde auf. Da entsteht sehr stark wiederum der Eindruck, daß von der Sonne etwas auf uns zukommt, das vom Monde zurückgehalten wird. Es ist, wie wenn ein Regenschirm Wasserstrahlen abhält. Und doch wäre auch diese Erscheinung des Schattens, der Abblendung der Wirkungen elektrischer Schwingungen, mit der Annahme vereinbar, daß es sich um unmittelbare Fernwirkungen handele. Man muß bedenken, daß der schattengebende Körper auch selbst einen unmittelbaren Einfluß auf das beschattete Objekt ausüben könnte; dieser Einfluß könnte abhängen von der Einwirkung der elektrischen Schwingungen (der Lichtquelle) auf den schattengebenden Körper, und er könnte den unmittelbaren Einfluß jener Schwingungen auf das beschattete Objekt gerade aufheben. Es sei nur im Vorübergehen erwähnt, daß auch die übliche Wellentheorie das Phänomen des Schattens nicht einfach erklärt als ein bloßes Zurückhalten von Strahlen; sie beruft sich vielmehr auch auf ein gegenseitiges Sich-Aufheben, nämlich von Wellen.

Endlich wird gegen den Fernwirkungscharakter elektrischer Effekte noch angeführt, daß diese von der Beschaffenheit des zwischen ihnen und ihren Ursachen befindlichen Mediums abhängen. Auch die Erscheinung des Schattens kann man unter diesen Gesichtspunkt unterordnen. Er hat aber eine viel allgemeinere Bedeutung. Die Intensität etwa, mit der eine elektrische Ladung

auf ein in einem bestimmten Abstande befindliches Objekt, z. B. ein Elektroskop, wirkt, hängt ab von dem Inhalt des Raumes zwischen Ladung und Objekt; sie ist verschieden, je nachdem dieser Raum leer oder mit verschiedenen Stoffen angefüllt ist. Das scheint wieder darauf hinzuweisen, daß der Zwischenraum zwischen Ladung und Objekt mitbeteiligt ist bei den elektrischen Vorgängen; denn davon, ob und wie dieser Zwischenraum mit gewöhnlichen Stoffen angefüllt ist, hängt die wahrnehmbare Wirkung der Ladung auf das Objekt (z. B. das Elektroskop) ab. Indessen schließt dies keineswegs aus, daß jene Wirkung eine direkte Fernwirkung ist, die nicht durch einen Inhalt des Zwischenraumes vermittelt zu werden braucht. Daß die Wirkung der Ladung auf unser Objekt eine andere wird, wenn wir den leeren Raum zwischen beiden mit verschiedenen Stoffen füllen, kann man daraus erklären, daß zu der direkten Fernwirkung auf das Objekt noch eine Wirkung jener von der Ladung beeinflußten Stoffe kommt.

Eher könnte man vielleicht geneigt sein, im folgenden einen Beweis gegen die Annahme unmittelbarer Fernwirkung zu erblicken. Die Wirkung einer schwingenden Ladung (z. B. eines leuchtenden Teilchens) auf ein fernes Objekt beginnt erst nach einer gewissen Zeit. Diese Zeit ist am kleinsten, wenn Ladung und Objekt durch den leeren Raum getrennt sind; sie wird größer, wenn der Raum mit Luft, Wasser, Glas usw. gefüllt wird. Man könnte meinen, wenn die Wirkung unmittelbar von der Ladung auf das Objekt ausgeübt würde, müßte es doch gleichgültig sein, ob zwischen beiden ein Vakuum oder irgendein gewöhnlicher Stoff sich befindet; man hat den Eindruck, daß von der schwingenden Ladung etwas sich fortbewegt, das im Vakuum schneller vorwärts kommt als in Luft, Wasser, Glas usw.

Freilich handelt es sich auch hier nicht um einen zwingenden Beweis dafür, daß von der schwingenden Ladung etwas sich durch das Vakuum hindurch zu unserem Objekt hinbewegt. Der verzögernde Einfluß der gewöhnlichen Stoffe, die den Zwischenraum füllen, könnte vielleicht in anderer Weise erklärt werden. Die elektrische Schwingung wirkt ja auch auf den Stoff im Zwischenraum, nicht nur auf unser Objekt; der von der Ladung beeinflußte Stoff wird seinerseits auf jenes Objekt wirken. Diese Wirkungen könnten sich eine Zeitlang aufheben, so daß also durch den Stoff im Zwischenraum der Eintritt der wahrnehmbaren Wirkung verzögert würde.

Immerhin muß nach alledem die Annahme unmittelbarer elektrischer Fernwirkungen als recht bedenklich gelten. Man wird sich nicht zu ihr entschließen, wenn die konkurrierende Auffassung, die Faraday-Maxwellsche Äthertheorie der scheinbaren elektrischen Fernwirkungen, nicht ihrerseits zu ernsten Schwierigkeiten führt. Wir werden sehen, daß in der Tat eine sehr erhebliche Schwierigkeit für die moderne Ausbildung der Ätherlehre vorliegt in dem Ergebnis eines Experimentes der Amerikaner Michelson und Morley. Dieser sehr bemerkenswerte Michelsonsche Versuch würde zu der Annahme direkter Fernwirkungen, deren Eintritt jedoch durch die räumliche Entfernung von Ursache und Wirkung verzögert wird, sehr gut passen. Wir werden zu prüfen haben,

ob nicht eine dritte Auffassung möglich ist, die eine mittlere Stellung einnimmt, die Vorzüge der Fernwirkungs- und der Faraday-Maxwellschen Theorie verbindet, ohne durch die Schwierigkeiten dieser Theorien belastet zu sein.

Die Faraday-Maxwellsche Theorie.

Zunächst aber gilt es, das für uns Wesentliche der Maxwell-Faradayschen Auffassung zu entwickeln. Im Gegensatz zur Fernwirkungslehre wird zunächst angenommen, daß alle scheinbaren elektrischen Fernwirkungen durch ein Medium vermittelt werden; eine unvermittelte Wirkung einer Ladung auf ein entferntes Objekt gibt es nicht. Da ein zwischenliegendes Vakuum die Wirkung der Ladung auf das entfernte Objekt nicht hindert, muß also auch das Vakuum ein vermittelndes Medium enthalten; ein wirklich leerer Raum existiert also nicht. Natürlich lag von vornherein der Gedanke nahe, dies Medium zur Übertragung elektrischer Wirkungen sei mit dem lichtübertragenden Äther identisch, der in der Physik bereits anerkannt war. Dieser Gedanke wurde bestärkt durch merkwürdige Wechselbeziehungen zwischen optischen und elektrischen Erscheinungen, zwischen Zahlenkonstanten, die in diesen Erscheinungsgebieten eine Rolle spielen. Als schließlich durch Hertz die Wesensgleichheit der Lichtstrahlung mit der von schwingender Elektrizität ausgehenden Strahlung dargetan wurde, erschien es selbstverständlich, daß das lichtübertragende Medium auch die scheinbaren elektrischen Fernwirkungen übertrage. Der Äther übernahm beide Rollen, die ja nicht mehr zu trennen waren, da das Licht ein elektrisches Phänomen, ausgehend von schwingenden Ladungen, darstellt.

Es wäre nun weiter zu fragen, wie der Äther die Vermittlung der scheinbaren elektrischen Fernwirkungen vollzieht, was dabei in ihm geschieht. Die Elastizitätswellentheorie hatte bestimmtere Vorstellungen bezüglich der Übermittlung des Lichtes entwickelt; sie nahm an, daß die Ätherteilchen unter dem Einfluß einer Elastizitätskraft transversale Schwingungsbewegungen in der Lichtwelle ausführen. Diese Annahme aber führte zu sehr bedenklichen Folgerungen. Wir werden daher versuchen, auf anderem Wege einen Einblick in das Verhalten des Äthers bei der Übermittlung scheinbarer elektrischer Fernwirkungen zu gewinnen.

Der Zustand des Äthers im elektrischen Feld.

Den Äther und sein Verhalten können wir nicht direkt wahrnehmen. Wir können nur prüfen, was mit gewöhnlichen, wahrnehmbaren Dingen im Äther geschieht, und wir können daraus auf den Äther und sein Verhalten schließen. Wir beginnen mit ganz einfachen Verhältnissen und untersuchen den Äther in der Umgebung einer ruhenden elektrischen Ladung, indem wir ein leichtes bewegliches elektrisiertes Partikelchen in die Nähe der letzteren bringen. Dies Partikelchen wird in der Umgebung der Ladung in einer ganz bestimmten Richtung bewegt, entweder zu der Ladung hin oder von dieser fort. Wir haben zunächst den Eindruck einer unmittelbaren Fernwirkung. Gegen die Annahme einer solchen sprechen aber oben angeführte Gründe. Die Wirkung der Ladung auf das Partikelchen wollen wir also als durch den Äther vermittelt ansehen. Wir müssen dann annehmen, daß in der Umgebnng einer Ladung ein besonderer Zustand im Äther herrscht, der die Bewegung des Teilchens bedingt; denn ohne das Vorhandensein der Ladung würde jener Bewegungsantrieb fehlen. Um

anzudeuten, daß in einem Raumteil solche Wirkungen auf elektrisierte Partikelchen ausgeübt werden, nennen wir diesen ein elektrisches Feld. Im elektrischen Feld muß also ein besonderer Ätherzustand herrschen. Wenn unsere Ladung verschwindet, verschwindet auch das elektrische Feld, also der besondere Ätherzustand. So verschwindet etwa auch der elastische Spannungszustand eines durch ein Gewicht gespannten Fadens, wenn das Gewicht fortgenommen wird. Wir können also sagen, daß dem Äther im elektrischen Felde ein besonderer, ungewöhnlicher Zustand aufgezwungen ist; wir können von einem Zwangszustand des Äthers sprechen, der einer elastischen Spannung in etwa vergleichbar ist, obgleich er von wesentlich anderer Natur sein mag.

Dieser Spannungszustand des Äthers ist an verschiedenen Punkten in der Umgebung einer Ladung verschieden stark; denn das elektrisierte Partikelchen wird an der einen Stelle (in größerer Nähe der Ladung) stärker bewegt als an der anderen. Außerdem ist der Spannungszustand in jedem Punkte des elektrischen Feldes noch charakterisiert durch eine bestimmte Richtung; denn überall wird unser Teilchen in einer bestimmten Richtung bewegt. Das elektrische Feld ist demnach aufzufassen als ein gerichteter Zwangszustand im Äther. Dieser Zustand wirkt auf elektrisierte Partikelchen bewegend. Es ist so, als ob etwa auf das Partikelchen ein Zug ausgeübt würde, wie ihn ein elastischgespanntes Gummiband ausübt. Das ist natürlich nur ein grober Vergleich; es geht nicht an, etwa von einer elektrisch geladenen Kugel sich lauter gespannte Ätherfäden ausgehend zu denken, die ein entgegengesetzt elektrisches Partikelchen an die Kugel heranziehen könnten. Wir dürfen aber sagen, daß im elektrischen Felde gerichtete Spannungszustände des Äthers herrschen, ohne über das Wesen der Spannung Näheres anzugeben. Übrigens ist im elektrischen Felde außerdem noch ein Druckzustand senkrecht zu jener Spannung anzunehmen. Darauf brauchen wir nicht einzugehen. Es kommt hier nur auf die Feststellung des Zwangszustandes an.

Der magnetische Feld-Zustand des Äthers. Wechselseitige Beziehungen zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Ätherzustand.

Der Zwangszustand des Äthers im ruhenden elektrischen Feld übt keine besondere Wirkung auf einen Magnetpol aus; die Wirkung auf einen Magneten ist nicht von derjenigen auf einen unmagnetischen Stahlstab zu unterscheiden. Magnetische Wirkungen treten aber auf, wenn das elektrische Feld bewegt (oder sonstwie verändert) wird. Wenn wir unsere Ladung, die etwa von einem Metallstück getragen werden mag, in Bewegung versetzen, so geht das elektrische Feld, also jener besondere Zwangszustand des Äthers, mit. Aber um die bewegte Ladung herum tritt nun noch ein anderer Zwangszustand des Äthers auf (Schweigger 1808, Oersted, Rowland); denn ein Magnetpol erhält in ihrer Nähe einen Antrieb, sich im Kreis um die Linie zu drehen, auf der die Ladung sich bewegen mag. Wir müssen also bei bewegter Ladung elektrische und magnetische Zwangsrichtungen unterscheiden; die ersteren gehen strahlenförmig von der Ladung aus, die letzteren bilden Ringe um die Bahn der Ladung und stehen auf den elektrischen Zwangsrichtungen senkrecht. Der ganze Zwangszustand des Äthers um eine bewegte Ladung herum ist zugleich ein elektrischer und ein magnetischer, stellt ein elektrisches und magnetisches Feld dar. Übrigens

ergibt die Untersuchung der magnetischen und elektromagnetischen Erscheinungen (nach Ampères Hypothese) die Auffassung, daß alle magnetischen Felder auf bewegte Elektrizität zurückzuführen sind; damit ordnet sich die Lehre vom Magnetismus ganz der Elektrizitätslehre ein.

Wie Bewegung des elektrischen Feldes ein magnetisches Feld erzeugt, so erzeugt auch Bewegung des magnetischen Feldes ein elektrisches Feld. Dies manifestiert sich darin, daß in der Nähe eines bewegten Magneten in einem elektrischen Leiter die Elektrizität in Bewegung versetzt wird, ein elektrischer Strom entsteht (Faraday 1831, darin besteht die technisch so wichtige „Magnetinduktion"). Dabei steht wieder die Zwangsrichtung des elektrischen Feldes auf derjenigen des magnetischen senkrecht. Ebenso wie Bewegung des Feldes wirken Verstärkung und Schwächung, Entstehung und Verschwinden, überhaupt Veränderung desselben; auch die Bewegung des Feldes bedeutet ja eine Entstehung bzw. Verstärkung desselben an den Punkten, zu denen es sich hinbewegt, ein Verschwinden an den Stellen, von denen es forteilt.

Mathematisch wurden die vorliegenden Beziehungen zwischen elektrischem und magnetischem Feld zuerst von Maxwell formuliert.

Ändert sich die Geschwindigkeit einer bewegten elektrischen Ladung, so ändert sich auch das Magnetfeld, der magnetische Zwangszustand des Äthers, den die Bewegung der Ladung hervorruft. Diese Änderung des magnetischen Feldes ruft ihrerseits ein elektrisches Feld, eine Änderung des elektrischen Feldzustandes hervor. Für unsere Zwecke brauchen wir diese Zusammenhänge hier nicht in allen Einzelheiten zu verfolgen. Es genügen einige Feststellungen.

Ändert eine elektrische Ladung ihren Bewegungszustand, erfährt sie eine Beschleunigung oder Verlangsamung, so hat dies sowohl eine Änderung des sie umgebenden Magnetfeldes wie des elektrischen Feldes zur Folge. D i e Ä n d e r u n g d e s Ä t h e r z u s t a n d e s i n m a g n e t i s c h e r u n d e l e k t r i s c h e r H i n s i c h t p f l a n z t s i c h n u n v o n d e r u n m i t t e l b a r e n U m g e b u n g d e r L a d u n g a u s z e i t l i c h d u r c h d e n Ä t h e r f o r t, u n d z w a r m i t L i c h t g e s c h w i n d i g k e i t, wie Hertz experimentell bewiesen hat. Das ist von größter Wichtigkeit.

Änderungen des Ätherzustandes pflanzen sich zeitlich, mit Lichtgeschwindigkeit, (?) fort. Elektromagnetische Wellen.

Schwingt eine elektrische Ladung wiederholt hin und her, ändert sie periodisch ihren Bewegungszustand, so ändert sich auch der magnetische und elektrische Zwangszustand periodisch. Da die Ladung beim Schwingen ihre Bewegungsrichtung umkehrt, wechselt auch die Richtung des magnetischen Feldzustandes. Und diesem periodischen Wechsel, diesem Hin und Her des magnetischen Feldzustandes entspricht ein Wechsel der Richtung des elektrischen Feldzustandes. Doch stehen dabei immer diese beiden Richtungen, die des magnetischen und die des elektrischen Zwangszustandes, senkrecht aufeinander. Der periodisch sich umkehrende magnetische Zwangszustand und ebenso der abwechselnd hin und her gerichtete elektrische Zwangszustand pflanzen sich nun, von der schwingenden Ladung ausstrahlend, mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum fort.

So erhalten wir elektromagnetische (Hertzsche) Wellen, und wenn die

Schwingungsbewegung in entsprechend schnellem Tempo erfolgt, Wärme-, Licht- oder ultraviolette Strahlen. Diese Wellen sind transversal, weil die periodisch wechselnden Zustände, die in ihnen sich fortpflanzen, und zwar sowohl die elektrischen wie die magnetischen, senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung, zur Strahlrichtung, stehen. Es handelt sich aber nicht etwa um senkrecht zum Strahl stehende einfache elastische Schwingungsbewegungen, die sich in der Welle fortpflanzen, wie es die alte Elastizitätswellentheorie des Lichtes annahm. Wir wissen nicht, von welcher Natur die elektrischen und magnetischen Zwangszustände sind, die sich in der elektromagnetischen Welle durch den Äther fortpflanzen; wir wissen nicht, ob es sich dabei vielleicht doch um irgendwelche Bewegungszustände im Äther handelt oder vielleicht um qualitative Zustände in ihm. Wir müssen nur das eine festhalten, daß auch diese elektrischen und magnetischen Zustände gerichtete, und zwar ihre Richtung periodisch wechselnde Zustände sind; darin liegt das Gemeinsame, das sie mit einem einfachen Bewegungszustande, wie er in einer Seilwelle forteilt, verbindet; denn auch diese Bewegung der Seilteilchen, diese transversale Schwingungsbewegung, ist ein gerichteter, und zwar seine Richtung periodisch wechselnder Zustand.

Jede Ätherwelle ist zugleich eine elektrische und magnetische. Die periodisch sich umkehrende Richtung des elektrischen Zwangszustandes steht senkrecht auf der ebenso periodisch sich umkehrenden Richtung des magnetischen Zustandes, und beide Richtungen stehen senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung, auf dem Strahl (genauer: auf der Normalen zur Wellenebene).

Wenn wir die periodisch wechselnden elektrischen und magnetischen Ätherzustände, die sich durch den Raum fortpflanzen, als Wellen bezeichnen, so ist das natürlich ein übertragener Ausdruck. Aber schon wenn wir von Luftwellen oder Seilwellen sprechen, liegt eine Übertragung des Wortes Welle vor, das ursprünglich eine gewisse Art der Wasserbewegung bezeichnet. Die Schallwellen sind bereits von ganz anderer Art als die Wasserwellen; die Bewegungsverhältnisse sind andere, und während die Luft- usw.- teilchen bei der Schallwelle unter dem Einfluß elastischer Kräfte schwingen, bewegen sich die Teilchen in der Wasserwelle unter dem Einfluß der Schwerkraft. Wenn demnach der Begriff der Welle von der Physik ohnehin weit gefaßt wird, geht es auch an, sich durch den Äther fortpflanzende periodische Zustandsänderungen als Wellen zu bezeichnen. Denn auch die Wasser- und die Luftwellen sind sich fortpflanzende periodische Zustandsänderungen eines Mediums; nur ist es bei diesen Wellen ein periodisch wechselnder Bewegungszustand, eine Schwingungsbewegung, die sich fortpflanzt, während es sich bei elektromagnetischen Wellen, beim Licht, um periodisch wechselnde elektrische und magnetische Zwangszustände handelt.

Die Entwicklung der Wellentheorie des Lichtes bis zur elektromagnetischen Theorie.

Wir können also sagen: Die alte Wellentheorie des Lichtes traf Richtiges, als sie das Licht als eine Wellenbewegung ansah; Huyghens ging aber zu weit, insofern er, durch die Analogie von Licht- und Schallerscheinungen verleitet, die Lichtwellen speziell als longitudinale Elastizitätswellen betrachtete. Weil er die Wellenhypothese zu speziell bestimmte, überbestimmte, ging er fehl; er

nahm in seine Hypothese, unter dem Eindruck jener Analogie, spezielle Bestimmungen über die Natur der Wellen auf, die zur Erklärung der Lichterscheinungen überflüssig waren. Dann kam, durch die Polarisationserscheinungen gefordert, die Korrektur der Huyghensschen Hypothese durch Fresnel und Arago. Man hielt an der Wellennatur mit Recht fest; denn darin liegt dasjenige Moment der ganzen Theorie, welches von vornherein ihre Erklärungsleistungen begründete. Man blieb ferner bei der Annahme, daß es sich um Elastizitätswellen handele, weil man nicht die Möglichkeit anderer periodischer Zustandswechsel als elastischer Schwingungsbewegungen ins Auge faßte; in diesem Punkte blieb also die Lichthypothese zu speziell bestimmt, überbestimmt. Die wichtige Korrektur, eine richtige speziellere Bestimmung der Hypothese, die man an Stelle einer unrichtigen setzte, lag darin, daß man das Licht nicht mehr als longitudinale, sondern als transversale Wellenbewegung ansah. Diese speziellere Bestimmung der Wellenlehre blieb beim Sieg der elektromagnetischen Lichttheorie bestehen; denn die periodisch wechselnden elektrischen und magnetischen Zwangszustände stehen transversal zur Strahlenrichtung, ebenso wie die periodisch wechselnden Bewegungszustände in einer transversalen Seilwelle.

Vergleich der Leistungen der Elastizitätswellen- und der elektromagnetischen Lichttheorie.

Weil die Elastizitätswellentheorie des Lichtes mit der elektromagnetischen Theorie so viel Gemeinsames hat, erklären beide viele Lichterscheinungen gleich gut. So bleibt z. B. die Erklärung der Brechung in der neuen Theorie die gleiche wie in der alten; sie beruht darauf, daß die Wellen, welcher Natur sie auch sein mögen, wenn sie etwa aus dem Vakuum (oder auch aus der Luft) in Wasser oder Glas eindringen, sich langsamer fortpflanzen. Auch für die Interferenzerscheinungen, die eine so starke Stütze der Wellentheorie des Lichtes bilden, gibt die elektromagnetische Theorie wesentlich die gleiche Erklärung wie die Elastizitätswellentheorie. Bei der Interferenz zeigt sich, daß sowohl Verstärkung wie auch Abschwächung (bzw. Aufhebung) stattfinden kann, wenn Licht zu Licht kommt. Nach der alten Theorie erklärt sich dies daraus, daß beim Zusammentreffen zweier Wellen die wechselnden Bewegungszustände derselben sich sowohl verstärken wie abschwächen (bzw. aufheben) können. Ebenso wie Bewegungszustände sich gegenseitig verstärken und abschwächen können, können dies aber auch elektrische Feldzustände, je nachdem sie gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind; und dasselbe gilt von den magnetischen Ätherzuständen. So ergeben sich die Verstärkungs- und Abschwächungs-, allgemein die Interferenzerscheinungen bei elektromagnetischen Wellen in wesentlich gleichartiger Weise wie bei Elastizitätswellen. Wir können auch sagen: Elektromagnetische Wellen „superponieren" sich, wie Elastizitätswellen, weil zwei elektrische und ebenso zwei magnetische Zwangszustände im Äther nach demselben Gesetz sich vereinigen wie zwei Bewegungszustände (nämlich nach dem Parallelogrammsatze).

Zahlreiche Lichterscheinungen werden also von der elektromagnetischen Lichttheorie in wesentlich gleicher Weise erklärt wie von der älteren Auffassung; das gilt z. B. auch von Polarisationserscheinungen, die ja nach beiden Auffassungen darauf beruhen, daß die Lichtwellen transversal sind. Die neue

Theorie leistet aber mehr als die ältere, zunächst indem sie mancherlei merkwürdige Beziehungen zwischen Licht, Elektrizität und Magnetismus erklärt. Faraday selbst hatte mit größter Ausdauer nach solchen Beziehungen gesucht und bereits 1846 einen bemerkenswerten Einfluß des magnetischen Zustandes auf polarisiertes Licht (Drehung der Polarisationsebene) entdeckt. Man wurde dann ferner darauf aufmerksam, daß beim Vergleich elektrischer (elektrostatischer und elektromagnetischer) Maße eine Geschwindigkeit eine Rolle spielt, deren Betrag gleich demjenigen der Lichtgeschwindigkeit ist. Man fand, daß bei vielen Stoffen die ihre Lichtbrechung bestimmende Zahl, der Brechungsexponent, gleich ist der Quadratwurzel aus einer Zahl, die für ihren Einfluß im elektrischen Felde charakteristisch ist (Dielektrizitätskonstante). Hertz konnte dann (auf Grund der Erzeugung und Messung stehender elektromagnetischer Wellen) experimentell feststellen, daß sich elektrisch-magnetische Feldzustände mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen. Weiterhin wurden alle wesentlichen optischen Erscheinungen mit elektromagnetischen Wellen nachgeahmt. Der Sieg der neuen Lichttheorie war durch Hertz entschieden, ehe durch Zeemans Phänomen (1896, zu welchem neuerdings das bereits erwähnte Starksche Phänomen kommt) bestätigt wurde, daß die Lichtwellen von schwingenden elektrischen Ladungen ausgehen.

Ätherauffassung der Maxwellschen Theorie.

Ein weiterer Vorzug der elektromagnetischen Lichttheorie liegt darin, daß sie von den Schwierigkeiten befreit, die, wie wir sahen, der Elastizitätswellentheorie und ihrer Ätherauffassung anhaften. Wir brauchen nun nicht mehr dem Äther eine Elastizität zuzuschreiben, die an diejenige der festen Körper erinnert. Wir brauchen nicht mehr zu fragen, wie es möglich sei, daß einerseits die gewöhnlichen Körper bei der Bewegung durch den Äther keinen oder so gut wie keinen Widerstand finden, und daß andererseits doch ihre schwingenden Bausteine dem quasi-festen Äther ihre Schwingungsbewegung mitteilen können. Wir müssen freilich daran festhalten, daß die Körper ohne merklichen Widerstand im Äther sich bewegen; wir mögen dies irgendwie zu erklären versuchen, etwa durch die Annahme, daß die Bausteine der gewöhnlichen Materie nur modifizierte Ätherteilchen, lokale Modifikationen des Äthers, darstellen; jedenfalls ist diese Widerstandslosigkeit jetzt viel weniger rätselhaft, da wir eine Quasi-Festigkeit des Äthers nicht mehr anzunehmen haben.

Statt dem Äther eine gewöhnliche Elastizität ähnlich der Formelastizität fester Körper zuzuschreiben, müssen wir ihm nun die Fähigkeit beilegen, gerichtete elektrische und magnetische Zwangszustände zu tragen und fortzupflanzen. Diese gerichteten Zustände entstehen durch gewisse Ursachen und bilden sich zurück, wenn die Ursachen aufhören; darin und in anderen Punkten erinnern dieselben an gewöhnliche Spannungen und Drucke in elastischen Stoffen; auch solche Spannungen haben etwa in einem gespannten Seile ihre Richtung; auch sie können Wirkungen übertragen. So kann ich durch Vermittlung eines gespannten Gummibandes einen Körper anziehen, der am Ende desselben befestigt ist, ähnlich wie eine elektrische Ladung durch Vermittlung des ,,gespannten" Äthers ein leichtes Körperchen anzieht. Indessen der elektrische oder

magnetische „Spannungs“-Zustand des Äthers ist der elastischen Spannung wohl vergleichbar, nicht aber mit ihr wesensgleich. Wir kennen die Natur jener Ätherzustände nicht; dies ist ein allerdings etwas fataler Grund dafür, daß sie uns nicht solche Schwierigkeiten bereiten wie die Schwingungszustände, die von der Elastizitätswellentheorie angenommen wurden.

Möglicherweise stellen die elektrischen und magnetischen Zwangszustände des Äthers qualitative Veränderungen dar, die überhaupt nicht weiter zu erklären, sondern nur festzustellen sind. Es bleibt aber auch denkbar, daß sie kompliziertere Veränderungen darstellen, die auf einer verborgenen Struktur des Äthers beruhen. Gegenwärtig kommt dem Versuch, jene Zustände als mechanische Veränderungen in einer Ätherstruktur aufzufassen, in der Physik keine besondere Bedeutung zu. Man nimmt die Zustände als etwas Gegebenes hin und beschränkt sich darauf, sie durch Analogien, wie sie z. B. elastische Spannungen bieten, zu verdeutlichen, ohne diesen Analogien eine tiefere Bedeutung beizulegen. Freilich haben mechanische Modelle zur Verdeutlichung der elektrischen und magnetischen Ätherzustände eine nicht geringe Rolle gespielt; Maxwell hat in erheblichem Grade von solchen Modellen bei seinen Überlegungen Gebrauch gemacht. Aber diese Modelle mit ihren Rotationen, mit ihrem verborgenen Räderwerk usw. können nicht ernsthaft als zutreffende Bilder des wirklichen Äthers aufgefaßt werden; ihre Bedeutung liegt vielmehr darin, daß sie unserem Geiste eine anschauliche Vorstellung bieten, die es ihm erleichtert, die vorliegenden Zusammenhänge zu überblicken, und die unser Denken zu neuen Vermutungen und Fragestellungen leitet. Bei den Äthermodellen handelt es sich nicht um Hypothesen, sondern um Fiktionen.

Der Gegensatz der älteren Stoff-(Fluidum-)Theorie und der Faraday-Maxwellschen Ätherzustands-Theorie der Elektrizität.

Die Faraday-Maxwellsche Theorie und die Elektronentheorie. Äther und Elektronen. Die erste Theorie der elektrischen Erscheinungen war die Fernwirkungstheorie, ausgestaltet nach dem Vorbild der Newtonschen Gravitationslehre. Die elektrischen Wirkungen gehen nach dieser Auffassung von elektrischen Ladungen aus, die von gewöhnlichen Körpern getragen werden. Die Ladungen wirken unmittelbar, ohne Vermittlung durch ein Zwischenmedium, auf entfernte Objekte. Die Elektrizität ist etwas Stoffliches, Flüssigkeitsartiges, das sich durch manche Substanzen, die Leiter, fortbewegen kann, das jedoch durch vollkommene Nichtleiter, insbesondere durch das Vakuum, nicht vorzudringen vermag.

Die Faraday-Maxwellsche Auffassung steht in schroffem Gegensatz zu dieser Fernwirkungslehre. Faraday sah, daß der Einfluß einer Ladung auf ein Objekt davon abhängt, welcher Stoff zwischen beiden sich befindet; das schien der Fernwirkungslehre nicht zu entsprechen, vielmehr die Bedeutung der Zwischensubstanz als eines die Wirkung vermittelnden Mediums darzutun. In das vermittelnde Medium, in den Äther, wurden nun die elektrischen und magnetischen Zustände hineinverlegt. Durch ihn und durch die sogenannten Nichtleiter verbreiten sich die elektrischen Zustände; erstere heißen daher Dielektrika. Während eine Ladung ohne weiteres auf ein Goldblättchen in einer Glasflasche wirkt, durch den Äther und das „nichtleitende“ Glas hindurch, vermag sie nicht

auf ein Objekt zu wirken, das von einem „Leiter" der Elektrizität, etwa einer Metalldose, umschlossen ist. Faraday kam also zu der Ansicht, daß die elektrischen Ätherzustände die Nichtleiter durchdringen, dagegen nicht die sogenannten Leiter, z. B. die Metalle; deren Oberfläche hält den elektrischen Ätherzustand zurück, versperrt elektrischen Wirkungen wie ein Schirm den Weg. Die Hertzschen elektromagnetischen Wellen gehen durch geschlossene Türen und Fenster, nicht aber durch Metallplatten hindurch. Wenn nun der elektrische Zustand im Äther sich befindet und verbreitet, in die Metalle aber nicht eindringt, dann steckt das Wesentliche der Elektrizität nicht in den metallischen Leitern, die nach der Fernwirkungstheorie die stoffliche Elektrizität tragen sollten, sondern in dem Medium, das sie umgibt, im Äther. Die gewöhnlichen Körper, etwa die Metalle, tragen nicht die elektrischen Faktoren, sondern lassen nur Wirkungen der sie umgebenden Ätherzustände für uns offenbar werden. Wenn zwei elektrisch geladene Metallkugeln sich anziehen, so ist es nicht deshalb, weil sie stoffartige elektrische Ladungen trügen, die unvermittelt über die Entfernung hinweg aufeinander wirkten; die Metallkugeln mit ihren sogenannten Ladungen sind nur Angriffspunkte, an denen sich die Spannungszustände des Äthers geltend machen. Nicht in den vermeintlichen Ladungen der Leiter liegt das Wesentliche der Elektrizität, sondern in dem Äther, der sie umgibt. Denken wir uns zwei Kugeln, die durch ein unsichtbares gespanntes Gummiband verbunden sind, so haben wir ein Bild für die Anziehung zweier elektrisch geladener Kugeln; nicht irgendwelche stoffartigen „Ladungen" auf den Kugeln bewirken die Anziehung; diese beruht vielmehr auf dem Spannungszustand des Gummis bzw. des Äthers, der zwischen den Kugeln sich befindet.

Die beiden Theorien der Elektrizität, die ältere Stoff- und Fernwirkungstheorie und die jüngere Faraday-Maxwellsche Zustands- und Berührungswirkungstheorie stehen einander schroff gegenüber; die erstere schien durch den Sieg der letzteren, der durch Hertz' Experimente (1888) entschieden wurde, völlig beseitigt. Und doch hat sich neuerdings eine neue Ausgestaltung der Stofftheorie der Elektrizität durchgesetzt: die Elektronentheorie. Wir haben gesehen, wie auf Grund der Faradayschen Gesetze der Elektrolyse Helmholtz ihr bereits 1881 eine feste Grundlage gab. Der eigentliche Schöpfer einer durchgebildeten Elektronentheorie aber ist der holländische Physiker H. A. Lorentz. Er ist es auch gewesen, der die Elektronentheorie und die Faraday-Maxwellsche Theorie zu einem einheitlichen Ganzen verschmolzen hat. Eine solche Vereinigung beider Theorien ist dann zu weitester Anerkennung gelangt; beide erschienen gleich unentbehrlich.

Vereinigung der neueren Stofftheorie der Elektrizität, der Elektronentheorie, mit der Faraday-Maxwellschen Zustandstheorie.

Die Synthese ist sehr wohl möglich. Die Stofftheorie der Elektrizität fordert nicht die Annahme einer unmittelbaren Fernwirkung. Man kann annehmen, daß der Elektrizitätsstoff — nach der heutigen Lehre also die Elektronen, die etwa die Ladung eines Leiters bilden — durch Vermittlung des Äthers auf entfernte Objekte wirkt, daß er von jenen Ätherzuständen umgeben ist, die die Faraday-Maxwellsche Theorie annimmt. Auch die letztere kann sehr wohl ein kleines Zugeständnis machen. Sie hatte das Wesentliche der Elektrizität

in das umgebende Medium verlegt und hatte die Leiter etwas beiseite geschoben. Um sich mit der Elektronentheorie zu verbinden, kann sie aber sehr wohl die Zentren, nach denen die elektrischen und magnetischen Ätherzustände orientiert sind, also die ruhenden oder bewegten elektrischen Ladungen, die Elektronen, auch auf und in den Leitern existieren lassen.

Die Verbindung der beiden Theorien geschieht also in der Weise, daß die Elektronen als zentrale Kerne der Ätherzustände aufgefaßt werden, welche ihrerseits ganz im Sinne der Faraday-Maxwellschen Theorie anzunehmen sind. Durch diese Heranziehung der Elektronen wird manches anschaulich klar, was bei Faraday und Maxwell etwas im Dunkel blieb oder zurücktrat. Ihre Theorie klärt uns über die Natur des Lichtstrahles im Äther auf; aber erst durch die Verbindung mit der Elektronentheorie wird der Vorgang des Leuchtens, der Aussendung des Lichtes durch die Körper und ihre Bausteine, geklärt; es sind eben die schwingenden negativen Elektronen der Atome, von denen die elektromagnetischen Wellen ausstrahlen, wie das Zeemansche Phänomen dartut. Die Maxwellsche Theorie handelte etwa von dem besonderen Ätherzustand in der Umgebung eines vom elektrischen Strom durchflossenen Drahtes; die Elektronentheorie fügt hinzu, daß im Drahte dabei Elektronen strömen als zentrale Kerne von Ätherzuständen, die sich zu jenem von der Maxwellschen Theorie ins Auge gefaßten Ätherzustande außerhalb des Drahtes zusammensetzen. Diese Ergänzung durch die Elektronentheorie ist nicht belanglos; die Berücksichtigung der Elektronenströmung erklärt eine ganze Reihe merkwürdiger Erscheinungen bei den elektrischen Leitungsvorgängen, die durch Maxwells Lehre nicht verständlich wurden. Das magnetische Feld eines gewöhnlichen Magneten wird erklärt durch das Kreisen von Elektronen in seiner Mikrostruktur.

Vorzüge dieser Vereinigung.

Die Elektronentheorie wurde von Lorentz sogleich als Ergänzung der Faraday-Maxwellschen Auffassung geschaffen. Aus diesem Verhältnis zu der letzteren erwachsen der Elektronentheorie Vorteile, die wir etwa durch den Hinweis auf die Erklärung der elektromagnetischen Trägheit verdeutlichen können. Wir haben ausgeführt, daß das Elektron die Erscheinung der Trägheit darbietet, d. h. gegen Bewegungsänderungen Widerstand leistet, einfach deshalb, weil es eine elektrische Ladung darstellt. Die Maxwellsche Theorie erklärt uns dies. Wenn wir den Bewegungszustand eines Elektrons ändern, seinen Flug beschleunigen oder verlangsamen, so verändern wir damit das magnetische Feld, den magnetischen Ätherzustand, welcher das Elektron umgibt und von ihm mitgeführt wird; diese Veränderung des magnetischen Feldes aber ruft einen elektrischen Feldzustand hervor, der die Ladung des Elektrons im alten Bewegungszustande zu erhalten strebt, der der Bewegungsänderung, der Beschleunigung oder Verlangsamung des Elektrons Widerstand leistet und so die Erscheinung der Trägheit hervorbringt. Diese beruht also auf Wirkungen der Ätherzustände in der Umgebung des Elektrons. Auch die merkwürdige Inkonstanz der Trägheit des Elektrons, ihr starkes Wachstum bei Annäherung der Elektronengeschwindigkeit an die Lichtgeschwindigkeit, erklärt sich auf Grund der Maxwellschen Theorie; es hängt dies damit zusammen, daß Ände-

rungen des Ätherzustandes sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes fortpflanzen. Weiterhin wird die Verschiedenheit der Trägheit in der Bewegungsrichtung und in der dazu senkrechten Richtung (der „longitudinalen“ und „transversalen“ Trägheit) verständlich.

Da der elektrische Strom aus sich bewegenden elektrischen Partikelchen besteht, muß er elektromagnetische Trägheit besitzen, wie ein einzelnes Elektron; d. h. dem Beginn der elektrischen Strömung muß sich ein Widerstand entgegensetzen, so daß der Strom nicht plötzlich, sondern nur allmählich in vollen Fluß kommen kann. Wegen seiner Trägheit kann ein elektrischer Strom, wenn er einmal im Gang ist, nicht ganz plötzlich abbrechen. So erklären sich die längst bekannten Erscheinungen der „Extraströme“, der „Selbstinduktion“. —

Die Vereinigung der Faraday-Maxwellschen Auffassung mit der Elektronentheorie kann zu gewissen Vermutungen über die Natur des Elektrons führen.

Das Elektron und der Ätherzustand in seiner Umgebung. Das Elektron als zentraler Kern seines Ätherfeldes, als lokale Äthermodifikation.

Wenn man von dem Elektron selbst ausgeht und dann den dasselbe umgebenden Feldzustand des Äthers ins Auge faßt, so liegt der Gedanke nahe, daß das Elektron diesen Feldzustand im Äther bewirkt, hervorbringt, daß es also das Primäre in bezug auf denselben ist. Aber es ist zu bedenken, daß das Elektron immer von einem Feld umgeben ist. Wir wissen daher nicht, ob das Elektron dies Feld hervorbringt. Wir kommen so leicht zu der Auffassung, daß das Elektron nichts anders ist als der zentrale Kern des elektrischen Ätherfeldes, die zentrale Stelle, nach welcher die Richtungen des Feldes orientiert sind. Das Elektron und sein elektrisches Feld gehören zusammen, und wenn das Feld einen modifizierten Ätherzustand darstellt, so liegt die Vermutung ganz nahe, daß auch das Elektron, der Kern des Feldes, eine lokale Modifikation im Äther ist. Wir waren ja schon auf die Vermutung gestoßen, daß die Bausteine der Materie lediglich lokale Modifikationen des Äthers darstellen; diese Vorstellung ließ es weniger seltsam erscheinen, daß die Körper sich ohne merklichen Widerstand durch den Äther bewegen. Auf diese Vermutung werden wir also hier zurückgeführt.

Die Bewegung eines Elektrons, eines solchen Feldkernes, bringt merkwürdige Veränderungen im Ätherzustande der Umgebung mit sich. Es tritt ein magnetisches Feld auf. Wird die Geschwindigkeit des Elektrons verändert, so erfolgt eine Änderung des magnetischen und dadurch auch eine Änderung des elektrischen Feldes. Solche Änderungen des Ätherzustandes strahlen dann mit Lichtgeschwindigkeit in den Äther hinaus.

Das unter Hinzuziehung der elektrischen Theorie der Materie sich ergebende Bild der (unbelebten) Natur.

Wenn die elektrische Theorie der (gewöhnlichen) Materie richtig ist, dann besteht die (unbelebte) Natur also aus atomartigen elektrischen Ladungen und aus Äther, in dem es gewisse besondere Zustände gibt. Solche Zustände begleiten und umgeben die elektrischen Ladungen, ihre zentralen Kerne, die vielleicht selbst nur lokale Modifikationen des Äthers darstellen; von solchen Kernen eilen aber unter Umständen auch derartige Ätherzustände mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum hinaus. Das wären die Grundlinien eines Bildes der (anorganischen) Gesamtnatur, zu dem die elektrische Theorie der Materie, die Elektronentheorie und die Faraday-Maxwellsche Lehre führen können.

Es bleibt allerdings fraglich, ob der positive Atomkern lediglich aus Elektrizität besteht. Ist dies nicht der Fall, so bleibt neben der negativen Elektrizität, neben den freien Elektronen, diese eigenartige positiv-elektrische Substanz, die dann die eigentliche Grundsubstanz der gewöhnlichen Materie bilden mag. Aber auch die positiven Partikel sind von Ätherfeldern umgeben und bilden deren Kerne; man kann immer noch vermuten, daß auch sie Modifikationen des Äthers sind.

Es hat den Anschein, daß die letzten elektrischen Bausteine der Materie unzerstörbare Individuen darstellen. Freilich wissen wir keineswegs sicher, ob sie nicht aus dem Äther entstehen und in ihm verschwinden können. Jedenfalls aber kann das oft zu beobachtende Verschwinden elektrischer Ladungen als ein lediglich scheinbares aufgefaßt werden. Wird ein positiv elektrischer Körper scheinbar unelektrisch, so mag dies auf der Aufnahme negativer Elektronen beruhen, deren Wirkungen diejenigen der positiven Teilchen nach außen aufheben. Auch können sich die auf einem Körper angesammelten frei beweglichen Elektronen (wenn der Körper etwa mit der Erde leitend verbunden ist) weit zerstreuen, so daß die Ladung für uns verschwindet. Charakteristisch ist jedenfalls, daß, soweit unsere Kenntnis reicht, nie negative oder positive Elektrizität allein entsteht; wo die eine Elektrizität auftritt, tritt auch stets ein gleiches Quantum der anderen in Erscheinung — ein Hinweis darauf, daß beide nicht neu entstanden sind, sondern nur manifest geworden sind, indem sie sich aus einer Verbindung trennten, die ihre Wirkungen nach außen zurücktreten ließ.

Spannungsrichtungen des elektrischen Ätherfeldes und Ladungen (Elektronen).

Es gibt also in der Welt wohl keine negative Ladung ohne entsprechende positive Ladung. Wenn wir ein widerstandslos sich bewegendes negatives Teilchen, das von einer negativen Ladung abgestoßen wird, beliebig weit verfolgen könnten, so würden wir finden, daß es schließlich zu einer positiven Ladung hingezogen wird. Die Spannungsrichtungen im elektrischen Ätherfeld, die von einer Ladung auslaufen, führen stets zu einer anderen Ladung hin. (Darauf beruht es, daß es keine elektrischen Longitudinalwellen im Äther gibt; damit hängt es zusammen, wenn man auf dem Standpunkte der Elastizitätswellentheorie des Lichtes dazu kam, den Äther als inkompressibel zu betrachten.) Von einer Ladung gehen nach allen Seiten Spannungsrichtungen im Äther aus, in einer Ladung laufen von allen Seiten her Spannungsrichtungen zusammen. Die Ladungen sind daher einfach Knotenpunkte, zu denen elektrische Spannungsrichtungen zusammenlaufen, und in denen sie enden. Im Sinne der Faraday-Maxwellschen Auffassung können wir sagen: die elektrischen Partikelchen der Elektronentheorie sind Endpunkte der elektrischen Ätherspannungen, die in ihnen konvergieren. Da an diesen Konvergenzstellen, diesen Knotenpunkten der Spannungsrichtungen (der sogenannten Kraftlinien) ein besonderer Ätherzustand herrschen muß, führt diese Aussage wieder auf unsere Auffassung zurück, daß die elektrischen Ladungspartikelchen lokale Äthermodifikationen sind; sie bringt aber besonders deutlich zum Ausdruck, daß solche Partikelchen (Elektronen) mit ihrem Ätherfeld zusammengehören, nur den Kern desselben darstellen, und sie betont den Zusammenhang zwischen positiven und negativen

Partikelchen. Diese hängen ja zusammen durch die Spannungsrichtungen des Ätherfeldes, die Kraftlinien, deren zwei Enden eben zwei entgegengesetzte Ladungen darstellen.

Der Äther ist durchsetzt von gerichteten Spannungen. Die elektrischen Spannungsrichtungen konvergieren nach gewissen, dauernd existierenden Zentren, den elektrischen Ladungspartikelchen (Elektronen). Aus solchen Zentren mag die gewöhnliche Materie aufgebaut sein.

Man hat wohl gemeint, diese Zentren seien einfach winzige Hohlräume, sozusagen leere Blasen, im Äther; die Spannungen, die von ihnen ausstrahlen und in ihnen konvergieren, erscheinen eben als das eigentlich Wirksame an den Ladungen.

In elektrisch-magnetischen Feldzuständen, wie sie in den elektromagnetischen Wellen von schwingenden Ladungen forteilen, verlaufen von Ladungen gelöste, in sich zurückkehrende geschlossene Spannungs- oder Kraftlinien. Sie hingen ursprünglich mit zwei Ladungen zusammen, endeten in ihnen; aber bei der Fortbewegung des Feldzustandes ging dieser Zusammenhang mit den beiden Ladungen verloren; bei der Loslösung von ihnen wurden die Kraftlinien zu geschlossenen Linien. Wir kommen also nicht immer im Verfolg elektrischer Spannungslinien auf End- oder Knotenpunkte, auf elektrische Partikelchen; die Linien können in sich zurücklaufen. Ursprünglich aber verbanden auch diese geschlossenen elektrischen Kraftlinien entgegengesetzte Ladungen.

Hypothese elektrischer Doppelpolatome. Ihre Bedeutung für die Auffassung der Kraftlinien und Ladungen.

Die Feststellung, daß an den beiden Endungen einer Spannungslinie sich entgegengesetzte Ladungen finden, könnte zu folgender Lehre von den elektrischen Doppelpolatomen führen. Man denke sich den Äther, in dem elektrische Felder entstehen können, aus Partikelchen zusammengesetzt, die einen negativen und einen positiven Pol besitzen; das wären die Doppelpolatome oder Dipolatome. Ist in einem Äthergebiet kein elektrisches Feld vorhanden, so sind die Pole der Dipolatome unregelmäßig nach den verschiedensten Richtungen orientiert. Liegt aber ein elektrisches Feld, etwa zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Leitern, vor, so sind die Atome in der Richtung der Kraftlinien geordnet, derart, daß immer der negative Pol des einen dem positiven Pol des anderen gegenüberliegt. Die Kraftlinien sind Ketten von Dipolatomen. An den beiden Enden einer Kraftlinie finden sich entgegengesetzte elektrische Pole. Wo der Äther an die beiden Leiter stößt, die etwa durch die Kraftlinien des Feldes verbunden sein mögen, da machen sich die Pole jener Doppelatome geltend; dem einen Leiter, von dem die Kraftlinien ausstrahlen mögen, sind lauter positive Pole zugewandt, dem anderen lauter negative Pole. So entsteht der Eindruck, daß der eine Leiter auf seiner Oberfläche eine positive, der andere eine negative Ladung trägt.

Die Erzeugung eines elektrischen Feldes käme demnach durch Richtung der Dipolatome zustande. Ein Elektron wäre ein Punkt, um den herum die Dipolatome des Äthers in Strahlen orientiert wären, so daß sie diesem zentralen Punkte alle den gleichen Pol zuwenden würden.

Nach der Elektronentheorie enthalten die Atome der gewöhnlichen Stoffe

negative und positive Ladungen. Befindet sich ein gewöhnlicher nichtleitender Stoff, z. B. eine Schwefelplatte, zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Körpern, so wird eine gewisse Orientierung der Atomladungen nach den diese Körper verbindenden Kraftlinien eintreten; wir haben dann eine „Polarisation“ im Nichtleiter, im Dielektrikum (dielektrische Polarisation). Eine andere Frage aber ist es, ob der ganze elektrische Feldzustand nichts ist als eine derartige Orientierung von Dipolatomen, und ob die in Erscheinung tretende Ladung lediglich die Summe der Ladungen der gleichnamigen Pole von Dipolatomen darstellt. Die Elektronentheorie kann eine dielektrische Polarisation, eine Orientierung der Ladungen in den Atomen gewöhnlicher nichtleitender Stoffe im elektrischen Feld durchaus anerkennen; diese Theorie nimmt aber nicht an, daß auf einer solchen Orientierung die ganze in Erscheinung tretende Ladung, etwa diejenige eines Leiters, beruht; der geladene Leiter steht nicht nur im Scheinbesitz der gleichnamigen Elektrizitätsmengen, die die Atome des umgebenden Dielektrikums ihm zuwenden, sondern er besitzt einen eigenen Überschuß an negativen oder positiven Partikelchen (bzw. ein Plus oder Minus an negativen Elektronen).

Will man soweit gehen, die ganze Ladung eines Leiters als lediglich scheinbaren Besitz desselben zu erklären, sie als Summe der Ladungen gleichnamiger Pole der Dipolatome des umgebenden Mediums zu betrachten, so muß man auch dem Äther Dipolatome zuschreiben, da ja in ihm geladene Leiter existieren können. Die Elektronen, die elektrischen Partikelchen, auch die in den Atomen der gewöhnlichen dielektrischen Stoffe anzunehmenden, müssen dann Zentren strahlenförmig orientierter Ätherdipolatome sein. Die (anorganische) Natur würde vielleicht aus lauter Ätherdipolatomen bestehen, die teils wirr durcheinander lägen — nämlich im freien Äther, — teils strahlenförmig orientiert wären und dann die elektrischen Bausteine der gewöhnlichen Stoffe bildeten. Winzige Paare verbundener negativer und positiver Elektrizitätsquanten wären die letzten Elemente der (unbelebten) Natur; die Elektronen wären bereits sekundäre Bildungen, bei denen eine Vielzahl von Dipolatomen beteiligt wäre.

Dipolatome des Äthers. Die Elektronen als Zentren strahlenförmig geordneter Ätherdipolatome. Kritik dieser Hypothese.

In der letzteren Annahme liegt allerdings schon eine gewisse Schwierigkeit. Die Elektronen scheinen alle die gleiche Ladung zu haben, gleich große Elektrizitätsmengen darzustellen. Die früher angeführten Tatsachen weisen wenigstens auf diese Annahme hin. Wenn aber das Elektron ein bloßes Summationsphänomen, ein Zentrum so und so vieler strahlenförmig orientierter Dipolatome ist, so sieht man nicht ohne weiteres ein, warum ihm überall dieselbe Ladung zukommt. Es könnten einmal mehr, ein andermal weniger Dipolatome in strahlenförmiger Ordnung zu einem Elektron zusammentreten. Freilich ließen sich zur Not Gründe finden, die es erklärlich machen könnten, daß immer gleich viele Dipolatome sich strahlenförmig zu einem Elektron zusammenfügten; ein solcher Grund könnte etwa in der Gestalt der Dipolatome liegen, die gerade für eine gewisse Strahlenanordnung, für eine Vereinigung in bestimmter Zahl, paßte.

Aber damit wären die Schwierigkeiten der angedeuteten Hypothese nicht erschöpft. Man versteht vor allen Dingen nicht, wie die aus Dipolatomen ge-

bildeten Elektronen sich dauernd erhalten können. Da z. B. beim negativen Elektron die dem Zentrum desselben zugewandten negativen Pole der Dipolatome zusammengelagert sind, muß eine Abstoßung zwischen diesen gleichnamigen Polen vorliegen, so daß die ganze strahlige Anordnung der Dipolatome in einem labilen Zustande sich befinden würde. Dagegen hätten wir im freien Äther, wo keine solche Anordnung vorliegt, in der gleichnamige Pole zusammengedrängt sind, offenbar einen stabilen Zustand. Was erhält nun den labilen Zustand jener Strahlenordnung der Dipolatome? Was gibt dem Elektron eine dauernde Existenz? Was hält die Dipolatome zusammen, so daß das Elektron nicht auseinanderfallen, sich in Äther auflösen kann? Wenn das Elektron immer in Ruhe bliebe im Äther, so könnte man das Bestehenbleiben der labilen strahligen Anordnung noch eher verstehen; aber die Elektronen schwingen im Äther; sie durcheilen ihn als β-Teilchen mit rasender Geschwindigkeit; wie soll eine labile Anordnung von Dipolatomen sich durch das Dipolatomgewirr des Äthers fortbewegen, ohne zu zerfallen? Es wären also wohl besondere Kräfte anzunehmen, die die strahlige Anordnung der Dipolatome aufrecht erhielten. Wir erwähnten bereits, daß man eine besondere Kohäsionskraft angenommen hat, um zu erklären, warum die Ladung des Elektrons nicht auseinanderfliegt; wir glauben diese Annahme entbehren zu können, wenn wir die Elektronen als letzte Bausteine betrachten dürfen. Die Annahme einer besonderen, zusammenhaltenden Kraft wird aber nicht wohl zu entbehren sein, wenn die Ladung des Elektrons nicht eine letzte, unteilbare Einheit ist, sondern aus den aneinandergelagerten negativen Polen strahlig angeordneter Dipolatome besteht.

Der Versuch, die Ätherfeldzustände und die elektrischen Ladungen, insbesondere die Elektronen, auf die Anordnung von Ätherdipolatomen zurückzuführen, ist doch wohl zu primitiv, um allen Anforderungen gerecht werden zu können.

Paare ungleichnamiger Elektronen nebst verbindendem Feld als Dipolatome. Kritik dieser Hypothese.

Man könnte daran denken, eine wesentlich andere, der Elektronentheorie mehr angepaßte Dipolatomhypothese zu schaffen, um den angeführten Schwierigkeiten zu entgehen. Wir wollen einmal die Annahme von positiven elektrischen Elementarquanten neben den negativen Elektronen gelten lassen; wir wollen kurz von positiven und negativen Elektronen sprechen, obgleich die positiven Elementarpartikelchen sich wesentlich von den negativen unterscheiden mögen. Wir haben dargelegt, daß das von einer Ladung ausgehende Feld bzw. seine Kraftlinien stets zu entgegengesetzter Elektrizität hinführen. Man könnte also auf den Gedanken kommen, je ein positives und ein negatives Elektron nebst verbindendem Ätherfeld als eine Einheit, als ein Dipolatom aufzufassen. Das verbindende Ätherfeld wäre eigentlich das wesentliche an dieser Einheit, an diesem Dipolatom; die Elektronen wären nur besondere Punkte in ihm, in welchen die Spannungslinien zusammenstrahlen. Da die beiden Elektronen, die Polpunkte unserer Einheit, sich nähern und entfernen können, wäre unser Dipolatom ohne feste Dimensionen; es wäre gleichsam dehnbar. Da die elektrischen Felder mehrerer derartiger Elektronenpaare sich übereinanderlagern können, wäre anzunehmen, daß solche Dipolatome nicht undurchdringlich für einander sind.

Eine solche Dipolatomhypothese würde übrigens gegenüber der bereits oben entwickelten Auffassung kaum etwas Neues bringen, was von Wert wäre. Die Elektronen blieben Zentren der Kraftlinien elektrischer Felder; unsere neue Hypothese würde nur nachdrücklich betonen, daß die von einer Ladung ausgehenden Kraftlinien stets zu entgegengesetzter Elektrizität hinführen, und daß in der Welt ebensoviel positive wie negative Elektrizität existiert. Es erscheint aber bedenklich, ein Elektron mit einem zweiten und dem verbindenden elektrischen Feld zu einem Individuum zu vereinigen. Ist einem positiven Elektron ein negatives viel näher als alle anderen, so führen die Kraftlinien von dem ersteren (zwar vornehmlich, nicht aber ausschließlich) zu dem letzteren hin. (Das Feld verbindet also eigentlich nicht ausschließlich zwei Elektronen. Doch lassen wir dies beiseite.) Das negative Elektron möge sich nun weit entfernen, und ein anderes möge an seine Stelle treten. Dann gehen die Kraftlinien des von dem positiven Elektron ausgehenden Feldes (zumeist) zu diesem anderen negativen Elektron. Das Feld eines Elektrons verbindet dasselbe also gar nicht dauernd (vornehmlich) mit einem bestimmten entgegengesetzt elektrischen Partikelchen. Unsere neuen Dipolatome bilden keine dauernden Einheiten. Die Elektronen selbst sind die dauernden Individuen.

Die Ladungen sind die Endungen der elektrischen Spannungslinien des Ätherfeldes. Es gibt ebensoviel positive wie negative Elektrizität, weil jede Linie, die ein Ende hat (also nicht in sich selbst zurückläuft), auch ein entgegengesetztes Ende hat. Warum die Spannungslinien, sofern sie nicht in sich zurücklaufen, in Knotenstellen — Elektronen — zusammenstrahlen, wissen wir nicht.

Kritik der Ätherlehre. Die sogenannten Feld-„Zustände“ des Äthers als selbständige stoffartige Realitäten. Wir kamen mehrfach auf die Auffassung zurück, daß die Bausteine der gewöhnlichen Materie nur lokale Modifikationen des Äthers darstellen. Diese Auffassung macht es allenfalls erklärlich, daß die gewöhnlichen Körper und ihre Bausteine durch den Äther hindurchwandern können, ohne Widerstand zu finden.

Wenn die Atome oder Elektronen in den Äther eingelagerte Fremdkörper sind, so werden sie bei ihrer Bewegung den Äther in Bewegung setzen. Das bewegte Körperteilchen wird den vor ihm liegenden Äther verdrängen, vor sich her oder beiseite schieben. Das ist wenigstens die nächstliegende Auffassung; man nimmt freilich vielfach an, daß der Äther die Körperteilchen durchdringe, und daß diese darum sich durch ihn hindurchbewegen, ohne ihn aufzurühren. Das ist immerhin eine seltsame Auffassung. Sie wird viel plausibler, wenn man annimmt, daß die Bausteine der gewöhnlichen Körper nur lokale Modifikationen des Äthers sind. Eine solche lokale Zustandsänderung könnte sich sehr wohl durch den Äther fortbewegen, ohne ihn aufzurühren oder mitzureißen; die Fortbewegung der Äthermodifikation könnte ja in der Weise geschehen, daß an der einen Seite des betreffenden modifizierten Raumteiles der Äther in den gewöhnlichen Zustand zurückkehrte, während auf der entgegengesetzten Seite der dem modifizierten Raumteil benachbarte Äther in den modifizierten Zustand überginge. So würde sich die lokale Modifikation im Äther verschieben, ohne

daß dieser selbst in Bewegung gesetzt, aufgerührt, mitgeschoben oder mitgerissen würde.

Wird der Äther von bewegten Körpern mitbewegt? Fizeau's Versuch.

Es wäre demnach für die Lösung der Frage, ob die Bausteine der gewöhnlichen Materie, etwa die Elektronen, lokale Äthermodifikationen sind, von großer Bedeutung, zu erfahren, ob der Äther durch die Bewegung gewöhnlicher Stoffe in Bewegung gesetzt, etwa mitgeschoben wird. Nach der Mikrostrukturlehre besteht ein gewöhnlicher Körper aus Bausteinen, die mehr oder weniger große Lücken zwischen sich lassen. Wir nehmen an, daß diese Lücken mit Äther gefüllt sind. Wenn nun ein bewegtes Molekül, Atom oder Elektron Äther vor sich herschiebt, dann müßte wohl ein Körper, eine Ansammlung solcher Teilchen, den in ihm enthaltenen Äther bei der Bewegung mehr oder weniger mitnehmen.

Da der Äther selbst unwahrnehmbar ist, können wir nicht einfach nachsehen, ob der etwa in einer Wassermenge enthaltene Äther bei der Bewegung, beim Strömen derselben sich mitbewegt, oder ob dieser Äther in völliger Ruhe zurückbleibt, während die Bausteine der Wassermenge sich durch ihn hindurchbewegen. Wenn man nun auch den Äther selbst nicht beobachten kann, so kann man doch sehr wohl einen von ihm getragenen Vorgang, das Licht, der Beobachtung unterziehen. Wir wollen einmal eine Lichtwelle betrachten, die sich im Äther von uns fortbewegt; wenn der die Lichtwelle tragende Äther sich gleichfalls von uns fortbewegte, so müßte jene Welle um so schneller sich entfernen. So vermag z. B. die bewegte Luft die Schallwellen fortzutragen.

Fizeau hat nun versucht, experimentell zu entscheiden, ob der in strömendem Wasser enthaltene Äther die Bewegung des Wassers mitmacht, indem er untersuchte, ob eine Lichtwelle von dem Wasser (und also von dem in ihm enthaltenen Äther) derart fortgetragen wird wie eine Schallwelle vom Winde. Das Licht wurde durch strömendes Wasser hindurchgesandt. Es fragte sich nun, ob etwa eine mit dem Strom gehende Lichtwelle sich schneller bewegte als eine Lichtwelle im ruhenden Wasser. Fizeau entschied diese Frage nicht durch direkte Messung der Lichtgeschwindigkeit, sondern mehr indirekt, durch Beobachtung einer Interferenzerscheinung, auf die wir nicht einzugehen brauchen. Er fand, daß in der Tat die Lichtwellen und also wohl auch der Äther im Innern des Wassers von diesem mitbewegt werden. Jedoch erscheint die Mitbewegung des Äthers langsamer als die Bewegung des Wassers. Das wäre leicht verständlich; die Moleküle usw. des bewegten Körpers bilden sozusagen ein Sieb, und wenn dieses durch den Äther gezogen wird, so wird die in dem äußerst feinen Sieb enthaltene Äthermenge etwas mitbewegt, aber sie bleibt doch hinter dem Sieb zurück.

Der Fizeausche Versuch scheint einen einwandfreien Beweis dafür zu liefern, daß gewöhnliche Stoffe bei ihrer Bewegung auch den in ihnen enthaltenen Äther in Bewegung (von freilich geringerer Geschwindigkeit) versetzen. Jedoch wird dieser Beweis durch die Elektronentheorie hinfällig. Die von Fizeau konstatierte

Gründe für die Annahme, daß der Äther unbewegt bleibt.

Änderung der Lichtgeschwindigkeit im strömenden Wasser erklärt sich in anderer Weise. Die Bausteine des Wassers enthalten elektrische Partikelchen, und diese mit dem Wasser sich bewegenden elektrischen Ladungen beeinflussen das

Licht und bringen so das Ergebnis des Fizeauschen Experimentes zustande, ohne daß der im Wasser enthaltene Äther sich mit ersterem bewegt.

Andererseits kann man die Aberration des Lichtes dafür ins Feld führen, daß der Äther in Ruhe bleibt, wenn die Körper sich durch ihn hindurch bewegen. Während eine von einem Fixstern kommende Lichtwelle vom Objektiv des Fernrohres bis zum Okular vordringt, hat sich das ganze Fernrohr mitsamt der Luft in seinem Innern infolge der Erdbewegung eine Strecke weit fortbewegt. Wenn der Äther im Fernrohr diese Bewegung mitmacht, so ist sie für die Fernrohrbeobachtung bedeutungslos; die Ätherwelle schreitet dann eben in dem in bezug zum Fernrohr unbeweglichen Äther vom Objektiv zum Okular fort. Anders hingegen, wenn der Äther im Inneren des Fernrohres die Bewegung des letztern nicht mitmacht. Ein gerade senkrecht auf die Mitte des Objektivs treffender Lichtstrahl wird dann nicht mehr die Mitte des Okulars treffen, da dieses sich verschoben hat, während das Licht vom Objektiv bis zum Okular durch den ruhenden Äther fortschreitet. In bezug zum Fernrohr geht also der senkrecht zum Objektiv, d. h. in Richtung der Fernrohrachse, einfallende Lichtstrahl in schräger Richtung weiter; er verläuft ja von der Mitte des Objektives zu einem außerhalb der Mitte liegenden Punkte des Okulars, also nicht in der Achse des Fernrohres. Darauf beruht die (von Bradley entdeckte) Aberration. Dieselbe ist so groß, daß anzunehmen ist, daß der Äther im Fernrohr gar nicht an der Bewegung des Rohres und der Luft in ihm teilnimmt. So schnell diese gewöhnlichen Körper von der die Sonne umkreisenden Erde durch den Raum getragen werden, der Äther bleibt in ihnen in absoluter Ruhe.

In der Tat haben die Beobachtungen zu der (Fresnelschen) Auffassung hingeführt, daß die bewegten Körper den Äther, auch den in ihnen befindlichen, nicht in Mitbewegung versetzen. Die Lorentzsche Elektronentheorie nimmt dies an. Lorentz konnte zeigen, daß — abgesehen von einem Versuch (in der Hauptsache) — alle gesicherten Beobachtungen auf dieser Grundlage durchaus verständlich werden.

Der Michelson-Morleysche Versuch widerspricht der Annahme eines unbeweglichen Äthers.

Ein Versuch aber steht der Annahme eines ruhenden Äthers sehr im Wege, so daß Lorentz sie nur durch eine recht kühne Hypothese retten konnte. Es handelt sich um ein Experiment von Michelson und Morley (1902), welches die einen ruhenden Äther annehmenden Physiker ungemein überraschte und eine lebhafte Bewegung in der Physik der letzten Jahre erregte, die noch nicht zum Abschluß gekommen ist. Wir können das Experiment selbst hier nicht schildern, haben aber sein Ergebnis zu verdeutlichen. Unsere Erde bewegt sich mit erheblicher Geschwindigkeit um die Sonne. Sie durcheilt dabei nach unserer Annahme den ruhenden Äther. Wir wollen zwei Punkte der Erde (etwa zwei Städte) betrachten, die A und B heißen mögen. Von A werde Licht nach B gesandt. Die beiden Punkte mögen so liegen, daß der Punkt A sich bei der Erdbewegung in der Richtung nach B hin bewegt; der Punkt B mag in derselben Richtung forteilen. Während das Licht von A nach B im ruhenden Äther vordringt, bewegt sich also B in der Richtung des Lichtstrahles weiter; B flieht gleichsam vor dem Licht, so daß dasselbe erst später in B ankommen wird, als

man nach der Größe der Lichtgeschwindigkeit und dem Abstand von A und B erwarten sollte. Wir können die Verhältnisse durch einen Vergleich klar machen. Wenn jemand vom letzten Wagen eines fahrenden Eisenbahnzuges aus der Lokomotive einen Pfiff zusendet, so kommt der von der Luft getragene Pfiff an der weitereilenden Lokomotive später an, als es bei stehendem Zuge der Fall ist. Die fahrende Lokomotive flieht vor dem Piff und wird daher nur mit Verspätung von ihm erreicht. Unsere Erde ist dem fahrenden Eisenbahnzuge vergleichbar, der ruhende Äther der Luft (die freilich von dem Bahnzuge etwas mitgerissen wird, was beim Äther nicht der Fall ist).

In der Tat, wie der Pfiff verspätet auf der forteilenden Lokomotive ankommt, so müßte das von A nach B gehende Licht verspätet in B ankommen, wenn es von einem ruhenden Äther getragen würde. Das merkwürdige Ergebnis des Michelson-Morleyschen Versuches spricht aber dafür, daß beim Licht die zu erwartende Verspätung nicht eintritt. Obwohl B forteilt vor der Lichtwelle, die ihm durch den angeblich ruhenden Äther nacheilt, wird es doch von der Welle ohne Verspätung eingeholt, gerade so, als ob B ruhig seinen Platz im Äther beibehielte.

Die einfachste Konsequenz aus diesem Ergebnis wäre die, daß der Äther zwischen den beiden Punkten A und B deren Bewegung, d. h. die Erdbewegung, mitmacht (eine Annahme, die Stokes und Hertz verwertet haben). Dann wäre es selbstverständlich, daß die von A nach B eilende Lichtwelle B ohne Verspätung erreicht, obwohl B sich fortbewegt; die Welle würde ja von dem die Bewegung von B teilenden Äther getragen. Wir könnten diese Verhältnisse durch folgenden Vergleich verdeutlichen. Ein Reisender geht im D-Zuge aus seinem hinten befindlichen Wagen A in den vorne befindlichen Wagen B. Das dauert gleich lange, mag der Zug stehen oder fahren. Freilich, wenn der Zug fährt, eilt Wagen B weiter, während der Reisende zu ihm hinstrebt; aber darum kommt letzterer nicht später an, weil er von dem Zuge getragen wird, der die Bewegung von B teilt.

Es scheint also, daß wir auf der einen Seite annehmen müssen, der Äther ruhe, auf der anderen Seite aber aus dem Michelson-Morleyschen Versuch folgern müssen, der Äther nehme teil an der Bewegung der Erde. D. h. die Annahme eines Äthers führt zu einem Widerspruch. Also gibt es keinen Äther.

Das ist eine sehr radikale Konsequenz, die das ganze Gewicht der Faraday-Maxwellschen Theorie gegen sich zu haben scheint. Wir werden alsbald prüfen, ob nicht das Wertvollste aus dieser Theorie auch nach Ablehnung der Ätherannahme gerettet werden kann. Bei der allgemeinen Anerkennung, deren sich die Faraday-Maxwellsche Lehre nach ihrer Bestätigung durch Hertz' Versuche mit elektromagnetischen Wellen erfreute, erscheint es jedenfalls wohl begreiflich, daß man die Ätherannahme zu retten suchte. Man hat versucht, die Zuverlässigkeit des Michelson-Morleyschen Experimentes zu bestreiten; das schien jedoch nicht angängig. Kürzlich (1913) ist allerdings G. Sagnac bei einem im Prinzip ähnlichen Experiment zu einem Ergebnis gelangt, welches die Annahme eines ruhenden Äthers bestätigen würde.

Die Lorentzsche Erklärung des Michelson-Morleyschen Versuches.

In origineller Weise hat sich Lorentz (wie auch Fitzgerald) mit dem Michelsonschen Versuch abzufinden gesucht. Der holländische Physiker hält fest daran, daß der Äther die Erdbewegung nicht mitmacht. Der Ausfall des Michelson-Morleyschen Versuches wird dann verständlich, wenn die Entfernung zwischen A und B kleiner ist, als wir glauben. Der Abstand von A bis B kann aber verkürzt sein, ohne daß wir es merken. Wir brauchen nur anzunehmen, daß alle Körper, auch unsere Maßstäbe, in der Richtung der Bewegung etwas kürzer werden, wenn sie durch den ruhenden Äther dahineilen. Es genügt eine äußerst kleine Verkürzung, um den Michelsonschen Versuch zu erklären; sie würde nur Millionstel Prozente der verkürzten Körperdimension betragen, selbst wenn der Körper in der Sekunde Tausende von Kilometern durcheilte. Um unsere üblichen Längenmessungen braucht uns also nicht bange zu werden, falls die Maßstäbe derartige Längenveränderungen erfahren, wenn sie in ihrer Längsrichtung bewegt werden.

Immerhin erscheint diese Annahme zunächst äußerst künstlich. Es fehlt ja ein Widerstand des Äthers, der die Körper in der Bewegungsrichtung zusammenpressen könnte. Doch kann man einiges zugunsten der Lorentzschen Annahme ins Feld führen. Die Dimensionen eines Körpers werden durch die Anordnung und den Abstand seiner Bausteine bestimmt. Diese Anordnung und dieser Abstand sind aber — wir denken zunächst an den Aufbau der festen Körper — durch die zwischen den Bausteinen herrschenden Kräfte bedingt; ein Wachsen der anziehenden Kräfte würde etwa eine Zusammenschrumpfung des Körpers verursachen. Nun liegt die Annahme nahe, daß auch diese Kräfte durch den Äther vermittelt werden. Wenn die Bausteine zuletzt elektrische Ladungen sind, ergibt sich das ja ohne weiteres. Wenn aber die Abstand und Anordnung der Körperbausteine bestimmenden Kräfte durch den Äther vermittelt werden, dann kann es nicht wundernehmen, wenn diese Kräfte nicht die gleichen bleiben, wenn die Bausteine durch den Äther eilen. Bei elektrischen Ladungen ändern sich die zwischen ihnen wirksamen Kräfte, wenn erstere in Bewegung geraten, weil sich dann die sie umgebenden Ätherfelder ändern; die Abstoßung zwischen gleichnamigen Ladungen nimmt z. B. ab oder geht in Anziehung über, wenn die Ladungen nebeneinander in gleicher Richtung bewegt werden. Wenn aber die Kräfte zwischen den Körperbausteinen sich bei der Bewegung durch den ruhenden Äther ändern, so werden sich auch die äußeren Dimensionen der Körper ändern; die Verkürzung der Körper in der Bewegungsrichtung könnte in dieser Weise zustande kommen.

Die Verkürzungshypothese erinnert uns an die Lorentzsche Annahme, daß die Elektronen beim Fluge durch den Äther sich abplatten, sich in der Bewegungsrichtung verkürzen. Diese Annahme liegt der Ableitung der Lorentzschen Formel für die veränderliche elektromagnetische Masse des Elektrons zugrunde. Wenn nun die gewöhnlichen Körper und ihre Moleküle und Atome zuletzt aus Elektronen aufgebaut sind, dann wird es verständlich, daß sie sich bei der Bewegung verkürzen, wie ihre Bausteine, mit deren Verkürzung natürlich auch eine entsprechende Veränderung ihres elektromagnetischen Kraftfeldes verbunden ist.

Bedenken gegen die Lorentzsche Erklärung. Ablehnung der Ätherannahme?

Die Annahme eines ruhenden Äthers kann also allenfalls gegenüber dem Michelson-Morleyschen Versuch aufrechterhalten werden. Die Verteidigung bleibt aber eine etwas künstliche. Die Annahme einer Verkürzung der Körper in der Bewegungsrichtung berührt schon seltsam; diese Verkürzung muß jedoch ferner eine ganz bestimmte Größe haben, wenn sie die Verspätung der Ankunft der Lichtwelle in dem durch den ruhenden Äther forteilenden Punkte B gerade kompensieren soll. Daß irgendeine angenommene Elektronenabplattung bei den Körpern gerade eine Verkürzung von richtiger Größe zur Folge haben würde, erscheint zunächst nicht wahrscheinlich. Außerdem ist diese Elektronenabplattung hypothetisch; wir haben gesehen, daß Abraham auf Grund der Annahme, daß das Elektron auch bei Bewegung seine starre Kugelgestalt beibehält, eine Formel für die elektromagnetische Masse abgeleitet hat, die den Beobachtungen vielleicht ebensogut gerecht wird wie die Lorentzsche.

Man wird unter diesen Umständen nach einem anderen Ausweg aus dem Dilemma suchen. Auf der einen Seite drängt die Beobachtung (Aberration) dazu, den hypothetischen Äther als schlechthin ruhend zu betrachten; auf der anderen Seite wäre auf dem Standpunkte der Ätherhypothese aus dem Michelson-Morleyschen Versuche die Konsequenz zu ziehen, daß der Äther an der Erdoberfläche die Erdbewegung durchaus mitmacht (nicht nur etwas von ihr mitgerissen wird, wie man nach Fizeaus Experiment zunächst hätte erwarten können). Es wurde schon auf einen radikalen Ausweg hingewiesen; die gemeinsame Grundlage der Annahmen, daß der Äther unbeweglich sei, und daß er die Erdbewegung mitmache, d. h. die ganze Ätherhypothese könnte falsch sein. Lehnen wir mit Einstein, Ritz und anderen modernen Physikern den Äther ab, so sind wir sofort von dem Widerspruch befreit.

Wir wollen erwägen, ob die Ablehnung des Äthers, die zum Verzicht auf die ganze Faraday-Maxwellsche Lehre mit allen ihren Vorzügen zu nötigen scheint, durchführbar ist. Die Ablehnung des vermittelnden Mediums scheint zur Fernwirkungslehre zurückzuführen. Dieser gegenüber deuten jedoch die Tatsachen der zeitlichen Ausbreitung, des Schattens, des Einflusses der Dielektrika usw. darauf hin, daß ein reales Etwas sich von der Quelle elektromagnetischer oder Licht-Strahlen fortbewegt, ein Etwas, das Zeit braucht zu seiner Bewegung, das durch zwischenliegende, schattenwerfende Körper (insbesondere Metalle) zurückgehalten werden kann, das jedenfalls beeinflußt wird, wenn es durch gewöhnliche Stoffe, wie die Dielektrika, hindurchdringt, das dabei eine andere Geschwindigkeit erhält. Ist dieses sich fortbewegende Etwas nicht ein bloßer Zustand in einer Substanz, die dasselbe gleichsam trägt, existiert ein tragender, substantieller Äther nicht, so muß es selbst etwas Substanzartiges, selbständiger Existenz Fähiges sein, das durch den leeren Raum hindurcheilen kann, ohne eines Trägers zu bedürfen. Die elektrisch-magnetischen Feld-„Zustände", wie sie etwa von schwingenden Elektronen (ev. als Licht) ausstrahlen, pflanzen sich durch den leeren Raum fort, in welchem nichts vorhanden ist, was ihnen als substantieller Träger dienen könnte, wenn kein Äther existiert. Diese vermeintlichen „Zustände" sind also gar keine Zustände, son-

Aus der Ablehnung der Fernwirkungsannahme und der Ätherhypothese ergibt sich die stoffliche Natur der elektrisch-magnetischen Feld-„Zustände".

dern selbständiger Existenz fähige, substanzartige, dinghafte Realitäten. Und da sie einen Raum erfüllen, sind sie körperliche Dinge; wir können sie als eigenartige Stoffe bezeichnen. Das elektrische Feld um ein Elektron wäre demnach kein Zustand eines besonderen Mediums, sondern ein Stoff, und das Elektron wäre der zentrale Kern dieses sich um dasselbe ausdehnenden, in größerer Entfernung immer mehr unmerklich werdenden Stoffes. In diesem Stoffe gäbe es eigenartige Richtungen, welche die Spannungs- oder Kraftlinien bilden.

Bewegt sich ein Elektron, so geht in dem umgebenden stofflichen Feld die bereits angeführte Veränderung vor; es treten in ihm magnetische Richtungen auf, die auf den elektrischen senkrecht stehen und die Bahn des Elektrons ringförmig umschlingen.

Von einer schwingenden Ladung strahlen elektrisch-magnetische Feldstoffe aus. Diese pflanzen sich mit Lichtgeschwindigkeit fort. Auch das Licht selbst ist nichts anderes als eine periodische Folge solcher Feldstoffe von alternierender Richtung; denn das Licht geht von schwingenden (bzw. kreisenden) Elektronen aus und besteht in einer Folge periodisch wechselnder elektrischer und magnetischer Felder.

Extreme Stofftheorie der Elektrizität, Fernwirkungstheorie und Faraday-Maxwellsche Theorie.

Damit kommen wir nicht nur zu einer extremen Stofftheorie der Elektrizität — sowohl das Elektron wie das elektrische Feld sind stofflich —, wir kommen auch zu einer Erneuerung der Stofftheorie des Lichtes, der Emissionstheorie (wie sie Ritz und — in Verbindung mit einer anderen, überaus kühnen Hypothese, der modernen Relativitätslehre — Einstein angebahnt haben); denn das, was sich im Lichtstrahl fortbewegt, was vom leuchtenden Körper ausgesandt wird, ist etwas Substanzielles, Stoffartiges. Wir kommen zu einer merkwürdigen Synthese der bisherigen Lehren. Die neue, extreme Stofftheorie der Elektrizität entnimmt der alten Stoff- (Fluidum-) Theorie den Gedanken, daß die Elektrizität etwas Selbständiges, Substantielles, ist, nicht ein bloßer Zustand eines an sich unelektrischen Stoffes. Die alte Fluidumtheorie ließ Elektrizität unmittelbar auf Elektrizität wirken, ohne Vermittlung eines Äthers. Auch die neue, extreme Stofftheorie braucht keinen Äther zur Vermittlung elektrischer Wirkungen; sie lehnt den Äther ab; die Ladungen wirken durch die stoffartigen elektrischen Felder, die sie umgeben. Andererseits leugnet die neue, extreme Stofftheorie wie die Faraday-Maxwellsche Lehre die unmittelbare elektrische Fernwirkung; die scheinbaren elektrischen und magnetischen Fernwirkungen werden nach der neuen extremen Stofftheorie wie nach der Faraday-Maxwellschen Lehre durch die elektrischen und magnetischen Felder vermittelt, welche die ruhenden oder bewegten Ladungen umgeben. Für die Fernwirkungslehre ist das elektrische (bzw. magnetische) Feld nichts Reales; es ist nur der ev. ganz leere Raum, in dem sich die Fernwirkungen einer Ladung (eines Magneten usw.) geltend machen können, wenn Objekte dazu da sind, dieselben zu erleiden. Nach der Faraday-Maxwellschen Lehre ist das Feld etwas Reales, nämlich ein besonderer Ätherzustand. Nach der neuen extremen Stofftheorie der Elektrizität bedarf es zur Vermittlung elektrischer Wirkungen so wenig eines Äthers wie nach der Fernwirkungstheorie; aber das elektrische Feld ist für die

extreme Stofftheorie etwas Reales, wie für die Faraday-Maxwellsche Lehre, jedoch kein bloßer Zustand eines Äthers, sondern ein selbständiges, stoffartiges Reales, das eines Äthers nicht bedarf.

Synthese der Stoff-(Emissions-) Theorie des Lichtes mit der Maxwellschen Undulationstheorie.

Das Wesentliche der elektromagnetischen Lichttheorie bleibt für die neue extreme Stofftheorie bestehen. Die neue Lichttheorie, zu der letztere hinführt, ist gleichsam eine Synthese der Emissionstheorie und der Undulationstheorie auf elektromagnetischer Grundlage. Wie jedes elektromagnetische Feld, so sind auch die periodisch wechselnden Feld-,,Zustände" im Lichtstrahl etwas Stoffliches, das eines tragenden Äthers nicht bedarf. Der leuchtende Körper sendet also etwas Stoffartiges aus in den leeren Raum, den kein Äther füllt; insofern trägt unsere Theorie den Charakter der Emissionslehre. Aber auch das periodische Hin und Her längs des Lichtstrahles, welches die Wellentheorie annimmt, wird von unserer neuen Lehre anerkannt; nur ist es kein Hin und Her von gerichteten Zuständen im Äther, wie die Maxwellsche Theorie annahm, sondern ein Hin und Her abwechselnd gerichteter, stofflicher elektrischer Felder. Betrachten wir einen horizontalen Lichtstrahl, der polarisiert sein möge! In ihm bewegen sich substanzielle elektrisch-magnetische Felder. Das erste von der Lichtquelle — einem schwingenden Elektron — forteilende elektrische Feld mag von oben nach unten gerichtet sein. Hinter ihm her kommt mit gleicher Geschwindigkeit ein von unten nach oben gerichtetes Feld, dahinter wieder, in gleichem Abstande, ein von oben nach unten gerichtetes usw. Im gleichen Strahl haben wir horizontale alternierende magnetische Richtungen. Die aufeinanderfolgenden Felder sind nicht unselbständige Zustände, die von einem Äther getragen werden, sondern selbständige, stoffartige Realitäten.

Daß der unwahrnehmbare, absolut unbewegliche, alle Körper und ihre Bausteine durchdringende, ihrer Bewegung keinerlei Widerstand leistende Äther dem völlig leeren Raume ziemlich nahekommt, liegt auf der Hand. Der Äther spielte schließlich nur die eine Rolle, die elektrisch-magnetischen Feldzustände zu tragen, als ihr Substrat zu dienen. Aber bedürfen diese ,,Zustände" eines solchen Substrates? Physiker (Drude, Abraham) sind wohl dazu übergegangen, an Stelle des Äthers den leeren Raum, das Vakuum, zu setzen; denn wo reiner Äther sein soll, ist für unsere Beobachtung nichts, ist leerer Raum. Da sie gewohnt waren, im elektrischen (oder magnetischen) Feld einen ,,Zustand" zu sehen, betrachteten sie das Feld um ein Elektron als Zustand des leeren Raumes. Aber der leere Raum hat keine Zustände, sondern ist überall gleichartig. Wo ein besonderer Zustand ist, muß eine Substanz sein, die ihn trägt. Ist das elektrische Feld etwas Reales, ohne von einem Äther getragen zu werden, so ist es eben selbst etwas Substanzielles, Stoffartiges. — Wenn der leere Raum Zustände tragen soll, so ist er selbst als etwas Substanzielles zu betrachten. Das ,,Vakuum" als Substanz ist nicht von einem Äther zu unterscheiden, der unwahrnehmbar und unbeweglich ist, alle Körper durchdringt und ihrer Bewegung keinen Widerstand leistet (A. Müller).

Prüfung der Synthese von Emissions- und Wellentheorie des Lichtes sowie der Stofftheorie des elektrischen und magnetischen

Feldes. Fassen wir die elektrisch-magnetischen Felder als Zustände des ruhenden leeren Raumes auf, so kommen wir ebenso mit dem Michelson-Morleyschen Versuch in Konflikt, wie wenn wir sie als Zustände des ruhenden Äthers betrachten; der ruhende leere Raum tritt dann an die Stelle des ruhenden Äthers als Träger der Lichtwellen, und im übrigen bleibt alles wie es war. Wenn wir aber diese Felder und also auch das Licht als etwas Stoffartiges betrachten, das selbständig, nicht von einem bewegten oder ruhenden Äther oder Vakuum getragen, sich bewegt, so verschwindet das ganze Dilemma. Sowohl die Aberration wie der Michelson-Morleysche Versuch werden verständlich. Betrachten wir zunächst die Aberration! Der Stoff, der in einem Lichtstrahl etwa senkrecht auf die Mitte eines Fernrohrobjektivs trifft und durch die Lücken zwischen den winzigen Bausteinen desselben hindurchgeht, eilt durch das Rohr weiter, ohne von dessen Bewegung beeinflußt zu werden. Das Okular des Fernrohres wird sich nun verschieben während der Zeit, die der Lichtstoff gebraucht, um vom Objektiv bis zum Okular zu gelangen. Der Strahl, der senkrecht auf die Mitte des Objektives traf, wird seitlich von der Mitte das Okular erreichen; so erklärt sich die Aberrationserscheinung. Aber auch das Ergebnis des Michelson-Morleyschen Versuchs wird verständlich. Der von Punkt A ausgehende Lichtstoff kann Punkt B rechtzeitig ereilen, obwohl A und B sich in gleicher Richtung mit ihm bewegen, obwohl also B vor dem Lichtstoff flieht, weil der letztere mit größerer Geschwindigkeit von dem bewegten Punkt A nach B hinstrahlen wird als von einem ruhenden Punkte. In bezug auf A wird der Lichtstoff mit einer gewissen Geschwindigkeit ausgesandt. Ist nun A selbst schon in Bewegung in Richtung auf B hin, so kommt die Geschwindigkeit dieser Bewegung zur gewöhnlichen Lichtgeschwindigkeit hinzu. Darum erreicht der Lichtstoff den Punkt B ohne Verspätung. Wir können dies wieder durch einen Vergleich verdeutlichen. Schießt man vom letzten Wagen eines Eisenbahnzuges nach der Lokomotive, so erreicht die Kugel (wenn wir vom Luftwiderstand absehen) die Lokomotive bei ruhendem und bei fahrendem Zuge in derselben Zeit. Bei fahrendem Zuge flieht freilich die Lokomotive vor der Kugel. Letztere aber kommt ohne Verspätung an, weil sie eine größere Geschwindigkeit besitzt, wenn sie vom fahrenden letzten Wagen nach der Lokomotive gesandt wird. Die Kugel hat nämlich schon eine gewisse Geschwindigkeit in Richtung auf die Lokomotive im Augenblicke vor der Explosion des Pulvers, wenn sie von dem fahrenden Wagen getragen wird. Diese Geschwindigkeit kommt zu der durch das Pulver erzeugten hinzu. Darum fliegt die vom fahrenden Wagen nach der Lokomotive abgeschossene Kugel schneller, und so erreicht sie ihr forteilendes Ziel ohne Verspätung. Der letzte Wagen des Zuges entspricht unserem Punkt A, die Lokomotive dem Punkt B, die Kugel dem von A ausgesandten Lichtstoff.

Sowohl die Aberration wie der Michelson-Morleysche Versuch werden durch die neue Theorie verständlich.

Die neue Auffassung wird also sowohl der Erscheinung der Aberration wie dem Michelson-Morleyschen Versuch in ungezwungener Weise gerecht. Eine Erneuerung des Grundgedankens der Emissionstheorie wird übrigens noch durch weitere Gründe nahegelegt. Da wäre zunächst der Druck zu er-

Strahlungsdruck. Masse der (Licht- usw.-) Strahlung. Massenverlust des strahlenden Körpers.

wähnen, den elektromagnetische (z. B. Licht-) Strahlen auf den Körper ausüben, auf welchen sie treffen. Dieser Strahlungsdruck wurde zunächst erschlossen (Maxwell u. a.), dann auch experimentell nachgewiesen (Lebedew, Nicols und Hull). Das, was sich im Lichtstrahl fortbewegt, übt also beim Auftreffen auf einen seinen Lauf hemmenden Körper einen Druck, einen Stoß aus, wie eine Masse. Das Licht, die ultrarote und die ultraviolette Strahlung, d. h. sich fortbewegende elektrisch-magnetische Felder, scheinen Masse zu besitzen. Man mag von einer bloßen Scheinmasse sprechen; aber wir haben gehört, daß auch die Masse der Elektronen wohl als scheinbar betrachtet werden darf, und daß vielleicht ein Gleiches für die Masse der gewöhnlichen Stoffe gilt. Wenn das Licht, die ultrarote und die ultraviolette Strahlung bzw. die forteilenden elektrisch-magnetischen Felder Masse besitzen, so liegt es sehr nahe, sie als etwas Stoffliches zu betrachten.

In die gleiche Richtung weist ein wertvolles theoretisches Ergebnis aus jüngster Zeit (Hasenöhrl, Planck u. a.). Wenn ein Körper Licht oder Wärme ausstrahlt, eilt im Strahl eine minimale Masse von ihm fort, und er selbst verliert nach jener theoretischen Erwägung dabei an Masse. Der Verlust ist freilich unmeßbar gering.

Lichtquantenhypothese. Ihre Stellung zur Emissions- und zur Undulationstheorie.

Auch die sogenannte Lichtquantenhypothese (Energiequantenhypothese, auf von Planck geschaffener Grundlage radikal gestaltet von Einstein und Stark) legt die Ansicht nahe, daß im Lichtstrahl etwas Stoffartiges sich fortbewegt, obwohl sie diese Auffassung keineswegs fordert. Ihr Grundgedanke liegt in der Annahme, daß Licht oder Wärme (Strahlungsenergie) immer nur in ganzen „Elementarquanten“ ausgestrahlt werde, in ganzen Vielfachen von Einheiten, deren Größe von der Schwingungszahl abhängt. Bruchteile dieser Einheiten des Ausgestrahlten kommen nicht vor; das Ausgestrahlte, Licht oder Wärme (Strahlungsenergie), besteht aus unteilbaren Einheiten, sozusagen aus Atomen. Wenn nun das Licht aus atomartigen Einheiten besteht wie die gewöhnlichen Stoffe, so liegt der Gedanke nahe, daß auch das Licht etwas Stoffartiges ist, daß die Lichtquanten *stoffliche* Einheiten sind, wie die Atome der gewöhnlichen Stoffe. Eine notwendige Folgerung ist dies freilich keineswegs. Wenn man aber hinzunimmt, daß jedes Lichtquantum einen Strahlungsdruck ausübt, eine träge Masse zu besitzen scheint, so gewinnt jener Gedanke eine weitere Stütze.

Die Quantenhypothese ist aus der theoretischen Ableitung eines wichtigen Gesetzes hervorgegangen, welches die auf der Temperatur eines Körpers beruhende Strahlung desselben (zunächst die Temperaturstrahlung eines *schwarzen* Körpers) beherrscht. Das Gesetz bringt die Temperatur des Körpers, die Intensität der Strahlung und die Wellenlänge in Zusammenhang. Nach Vorarbeiten von Dulong und Petit, Kirchhoff, Stefan, Boltzmann, Wien, Lummer und Kurlbaum legten Lummer und Pringsheim endlich auf experimentellem Wege diese längst gesuchte Gesetzmäßigkeit fest. Planck gab dann eine theoretische Ableitung derselben. Er ging aus von der kombinierten elektromagnetischen Lichttheorie und Elektronentheorie der Strahlungsaussendung und -absorption.

Die einzelnen schwingenden Elektronen konnten dabei nicht im Detail verfolgt werden; so waren statistische Methoden auf die Vielheit derselben anzuwenden, ähnlich wie in der kinetischen Gastheorie die Vielheit der Moleküle eines Gases statistisch behandelt wird. Bei diesem Vorgehen aber kam ein Ergebnis (das Rayleigh-Jeansche Gesetz) heraus, das mit der Erfahrung durchaus nicht zusammenstimmte. Darum war die hypothetische Grundlage der ganzen Überlegung zu ändern bzw. auszubauen; mit der üblichen Form der elektromagnetischen Schwingungs- und Elektronentheorie ging es nicht. So sah sich Planck veranlaßt, die (Energie-)Quanten einzuführen, die als Ganze, als Einheiten, auftreten. Das paßte zwar nicht zu jener üblichen Theorie, lieferte aber ein Strahlungsgesetz, welches mit den Ergebnissen der experimentellen Feststellungen zusammenstimmt. Planck versucht, seine Quantenlehre mit den üblichen Vorstellungen über Strahlung zu vereinigen; seine Quantenhypothese ist eine eingeschränkte, weniger radikale. Aber auch die Einheiten der radikaleren Lichtquantenlehre müssen wohl im Sinne einer elektromagnetischen Lichttheorie interpretiert werden. Sie könnten elektrisch-magnetische Feldzusammenhänge darstellen; die Lichtquantenlehre könnte zu einer Ausgestaltung der elektromagnetischen Lichttheorie führen, etwa unter Berücksichtigung der dargelegten Synthese der letzteren mit der Emissionstheorie. Auf eine völlige Beseitigung der elektromagnetischen Undulationstheorie kann die neue Lehre schwerlich hinauslaufen. Die Lichtquantenlehre mag im Sinne der Emissionstheorie interpretiert werden; die Lichtquanten mögen von der Lichtquelle ausgesandte substantielle Einheitsmengen sein. Es wird doch dabei bleiben, daß längs des Lichtstrahles ein periodischer Wechsel irgendwelcher Richtungen stattfindet, die senkrecht auf dem Strahl stehen; sonst sind die Interferenz- und Polarisationserscheinungen nicht zu verstehen. Und da das Licht von schwingender Elektrizität ausgeht, was nach Hertz' Versuchen als ausgemacht gelten kann, werden jene Richtungen als periodisch wechselnde elektrische (und magnetische) Feldrichtungen aufzufassen sein. Diesen periodischen Richtungswechsel längs des Strahles werden auch die extremste Lichtquantenhypothese und die wiederbelebte Emissionstheorie anerkennen müssen. —

Die Quantenlehre findet auch auf die dem Licht eng verwandten Röntgen- und γ-Strahlen erfolgreiche Anwendung.

Unsicherheit der Lichtquantenhypothese. Weitere Schwierigkeiten der üblichen elektromagnetischen Lichttheorie.

Indessen ist die Quantenhypothese noch keineswegs für alle die zahlreichen in Frage kommenden Erscheinungen durchgeführt, und sie stößt noch auf manche Schwierigkeiten. Insbesondere der radikaleren Strahlungsquantenhypothese steht vieles im Wege. Doch hat es nicht den Anschein, als ob die ganze Quantenlehre wieder entbehrlich werden würde. Vielleicht gewinnt sie epochemachende Bedeutung. Sie hat bereits schöne Ergebnisse geliefert (in der Theorie der spezifischen Wärme der festen Körper, der photochemischen Prozesse, der Spektrallinien). Einstein und Stark haben mit ihrer Lichtquantenhypothese beachtenswerte Erfolge auf den Gebieten der Phosphoreszenz und der lichtelektrischen Erscheinungen erzielt. Übrigens gibt es sehr verschiedene Ausgestaltungen der Quantenhypothese (es sei noch die Sommerfeldsche Annahme von

Wirkungsquanten statt Energiequanten genannt, die mit den üblichen älteren Theorien besser zusammenpaßt). Jedenfalls ist es aber bemerkenswert, daß der atomistische Gedanke, der in der Physik der jüngsten Zeit so große Erfolge zu verzeichnen hat, in der Gegenwart vom Gebiet der gewöhnlichen Materie aus sogar auf das Reich der Strahlungen übergreift, nicht nur der α- und β-Strahlungen usw., sondern auch der anerkannten Wellenstrahlungen des Lichtes, der Wärme usw.

Das von Planck gewonnene Resultat, die Strahlungsformel, ermöglicht eine recht genaue Bestimmung der Loschmidtschen Zahl, die vorzüglich mit den zuverlässigsten unter den übrigen Bestimmungen übereinstimmt — wiederum ein Triumph der (im weiteren Sinne) atomistischen Auffassung der Körperwelt.

Unter den geschilderten Umständen wäre es verfehlt, wenn man eine Erneuerung der Emissionstheorie in erster Linie auf die Lichtquantenhypothese stützen wollte. Die letztere läßt eine Deutung im Sinne der Emissionstheorie zu, fordert sie jedoch nicht. Die Lichtquantenhypothese ist aber noch dadurch für die Neugestaltung der Lichttheorie wichtig, daß sie zeigt, daß bei der üblichen elektromagnetischen Theorie doch nicht alles in bester Ordnung ist. Es bestehen auch sonst noch einzelne Schwierigkeiten für diese Theorie, z. B. in bezug auf die chemischen Wirkungen des Lichtes (Schwierigkeiten, die wohl nicht unüberwindbar sein dürften); eine andere Schwierigkeit liegt in Beobachtungen, die anzudeuten scheinen, daß die vordere Fläche einer vordringenden Welle eine inhomogene Struktur besitzt.

Erklärbarkeit der Reflexion, Brechung, Interferenz, Beugung, Polarisation durch die mit der elektro-magnetischen Theorie verschmolzene Emissionstheorie.

Wichtiger als alle diese noch nicht genügend geklärten Dinge ist für die Bewertung der erneuerten, mit der elektromagnetischen Theorie verschmolzenen Emissionstheorie neben der Erklärbarkeit der Aberration und des Michelson-Morleyschen Versuches die Frage, ob sie den altbekannten optischen Phänomenen der Reflexion, Brechung, Interferenz, Beugung, Polarisation gerecht wird; sie muß diese Erscheinungen ebenso befriedigend erklären wie die Wellentheorie. Die ältere Emissionstheorie wurde mit der Reflexion leicht fertig; das Licht wird ja vom Spiegel reflektiert wie ein fliegender Gummiball von einer Wand. Aber schon bei der Brechung versagte die Newtonsche Theorie gegenüber dem entscheidenden Foucaultschen Experiment, gegenüber der Messung der Lichtgeschwindigkeit im brechenden Körper (z. B. in Wasser). Und die Interferenz machte erst recht Schwierigkeiten; sie wurde dagegen ungezwungen durch die Undulationstheorie erklärt; diese wurde, speziell als Transversalwellentheorie, auch den Polarisationserscheinungen gerecht, welche die primitive nächstliegende Form der Emissionstheorie auch nicht erklären kann.

Unsere mit der elektromagnetischen Theorie verschmolzene Emissionstheorie scheint aber alle die genannten Phänomene ebenso erklären zu können wie die übliche elektromagnetische Wellentheorie. Diese neue Emissionstheorie nimmt ja die elektromagnetische Theorie fast ganz in sich auf; nur betrachtet sie die elektrisch-magnetischen Felder, die im Lichtstrahl forteilen, nicht als

Zustände einer besonderen Substanz, des Äthers oder eines substantiell gedachten Raumes, sondern sie sieht in diesen Feldern selbständige, substantielle, stoffartige Realitäten, die einer weiteren, sie tragenden Substanz nicht bedürfen. Diese Änderung der Auffassung der elektromagnetischen Lichttheorie, die dieselbe in eine Lichtstoff-, eine Emissions-Theorie verwandelt, ist aber für die Erklärung der Reflexion, Brechung, Interferenz usw. ganz belanglos. Hier bleibt alles beim alten; denn es ist für die genannten wahrnehmbaren optischen Vorgänge ganz gleichgültig, ob die unwahrnehmbaren elektrisch-magnetischen Felder Zustände (eines Äthers oder eines substantiell gedachten leeren Raumes) sind oder stoffartige Realitäten; es kommt allein darauf an, wie diese Felder sich verhalten, sich bewegen, aufeinander und auf andere Dinge wirken, und in dieser Hinsicht bringt die Stofftheorie der elektrisch-magnetischen Felder keine Veränderung. Wie die Felder sich verhalten, zeigt zuletzt die Beobachtung; diese bleibt unberührt davon, wenn wir die Felder als Substanzen, nicht mehr als Zustände einer Substanz (des Äthers oder Raumes) betrachten. Der Unterschied der Auffassung kommt jedoch beim Michelson-Morleyschen Versuch zur Geltung; da zeigt es sich, daß die Felder, welche das Licht bilden, sich verhalten wie ausgeschleuderte Stoffe (wie die aus dem letzten Wagen des Eisenbahnzuges abgeschossene Kugel), nicht aber wie Zustände, die von einem unbeweglichen Äther oder substanziellen Raume getragen würden.

Polarisation und Interferenz.

Betrachten wir etwa die Polarisationserscheinungen! Sie beruhen darauf, daß die im Lichtstrahl fortschreitenden Felder senkrecht zum Strahl gerichtet sind. Dies ist ebensogut möglich, wenn die Felder Substanzen sind, wie wenn sie Zustände sind. Denn wie Zustände gerichtet sein können (man denke an Spannungszustände), so können auch Substanzen ausgezeichnete Richtungen haben; man braucht nur an die ausgezeichneten Richtungen in Kristallen zu denken, die für die Kristalloptik so bedeutsam sind, z. B. an die Richtung der Hauptachse in der Substanz des Kalkspates, die von allen anderen Richtungen im Kalkspat sich unterscheidet, weil allein in ihr keine doppelte Brechung eines natürlichen Lichtstrahles eintritt.

Am meisten scheinen auf den ersten Blick die Interferenzerscheinungen einer Lichtstoff-, einer Emissionstheorie zu widerstreben. Sie zeigen, daß sowohl Verstärkung wie Abschwächung (Auslöschung) eintreten kann, wenn Licht zu Licht kommt. Die Zustandstheorie macht dies erklärlich; denn gleichgerichtete Zustände (z. B. Bewegungszustände) können sich verstärken, entgegengesetzt gerichtete sich schwächen (sich ev. aufheben). Dagegen ergibt sich stets ein Mehr an Stoff, wenn Stoff zu Stoff kommt, so daß nach der Lichtstofftheorie immer Verstärkung, nie Abschwächung eintreten sollte, wenn Licht zu Licht kommt; und doch tritt solche Abschwächung bzw. Auslöschung bei Interferenzerscheinungen ein. Indessen ist dieser Einwand gegen die neue Lichtstofftheorie nicht durchschlagend, weil wir in den Elektrizitäten Stoffe kennen gelernt haben, die beim Zusammentreten sowohl sich verstärken wie sich abschwächen und für unsere Wahrnehmung verschwinden können. Wenn lauter gleichnamige elektrische Partikelchen zusammenkommen, so verstärken sich

ihre Wirkungen; dagegen findet Abschwächung statt, wenn es sich um ungleichnamige Elektrizitäten handelt; und treten gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität in inniger Vereinigung zusammen, so verschwinden die elektrischen Erscheinungen für uns. Wenn so stoffartige elektrische Ladungen sich verstärken und aufheben können für unsere Beobachtung, warum sollen dann stoffartige elektrische Felder dies nicht können? Die Felder sind ja Ausläufer der Ladungen, die Ladungen Kerne von Feldern. Wenn solche stoffartigen Kerne durch Zusammentreten für unsere Wahrnehmung verschwinden können, warum dann nicht auch stoffartige Ausläufer derselben? Die Kerne werden trotz dieser gegenseitigen Aufhebung wahrnehmbarer Wirkungen derselben als stoffartig aufgefaßt; dies wird also auch bei ihren Ausläufern, den Feldern, angängig sein.

Die dynamische Theorie des Stoffes nimmt der Stofftheorie des Feldes den paradoxen Charakter. Dynamische Theorie des Feldes.

Die Stofftheorie des elektrischen und magnetischen Feldes und die Interferenz, insbesondere die gegenseitige Abschwächung und Aufhebung von stofflichen Feldern, verlieren viel von ihrem paradoxen Charakter, wenn wir die dynamische Theorie der Körperwelt, des Stoffes, heranziehen, die im erkenntnistheoretischen Teil dieser Schrift entwickelt wurde. Stoffliche Dinge oder Körper sind raumerfüllende substantielle Außenweltsrealitäten. Außenweltsrealitäten erfassen wir nicht unmittelbar, wie eigene Bewußtseinsinhalte; wir erkennen sie aus ihren Wirkungen auf uns (Empfindungen) und auf andere Dinge. Die Außenweltsrealitäten stellen also Wirkungsfähigkeiten oder Kräfte dar. Die Körper sind selbständige (substantielle, dinghafte) raumerfüllende Kräfte oder Kraftverbände. Nach dieser Auffassung der Körper, der stofflichen Dinge, hat es also folgenden Sinn, wenn wir die elektrischen und magnetischen Felder als stoffartig bezeichnen, wenn wir von Feldstoff sprechen: Wo ein elektrisches oder magnetisches Feld ist, befindet sich etwas Reales, das nicht als ein bloßer Zustand von einem anderen Etwas (einem Äther, einem substantiellen Raum) getragen wird, sondern selbständig (substantiell, dinghaft) existiert; dieses Reale stellt eine raumerfüllende Wirkungsfähigkeit dar, eine Kraft, die in einem Raumteil überall vorhanden ist. Wenn wir das Feld als einen Stoff bezeichnen, so heißt dies, daß wir es als eine selbständige, einen gewissen Raum erfüllende Kraft (bzw. Verbindung von Kräften) betrachten. Selbständig und darum substantiell erscheinen die Feldkräfte, wenn wir ihnen nicht einen tragenden Äther unterlegen, und wenn wir bedenken, daß sie im Licht z. B. frei durch den Raum dahin eilen. Auch nimmt das Feld immer einen gewissen Raum ein. Darum durften wir dasselbe als dinghafte, raumerfüllende Realität, als körperliches, stoffartiges Ding bezeichnen. Wer den Ausdruck „Stoff" für die gegewöhnliche, greifbare Materie reservieren will, mag das Feld einen selbständigen (nicht bloß zuständlichen) raumerfüllenden Kräfteverband nennen; er meint dann genau dasselbe wie wir, und die Differenz ist nur eine terminologische. Vielleicht wird die letztere Ausdrucksweise die vorliegende Auffassung eher annehmbar erscheinen lassen; viele mögen Anstoß daran nehmen, wenn das Feld als stoffartig bezeichnet wird, weil sie bei dem Worte Stoff sofort an die gewöhnliche Materie denken und in seinen Sinn allerhand Eigenschaften, wie

z. B. Undurchdringlichkeit u. dgl., hineinlegen, die in unseren Begriff der körperlichen Substanz nicht aufgenommen wurden.

Lassen wir aber lediglich terminologische Schwierigkeiten beiseite, sehen wir von dem Streite um die Fassung und Anwendung des Stoffbegriffes ab, so wird unsere Auffassung des Feldes als eine einfache Interpretation der grundlegenden Beobachtung erscheinen. Letztere zeigt, daß in einem elektrischen Feld überall auf ein elektrisches Körperchen eine Bewegungswirkung ausgeübt wird. Wo das elektrische Feld ist, besteht die Fähigkeit zu dieser Bewegungswirkung; es braucht nur ein geeignetes bewegliches Körperchen da zu sein, damit die Wirkung eintritt. Das Feld ist also eine einen gewissen Raum besetzende Wirkungsfähigkeit oder Kraft. Der Äther, der diese Wirkungsfähigkeit, diese Kraft, tragen soll, ist nicht wahrnehmbar. Warum soll diese Kraft, d. h. dieses wirkungsfähige Reale, einen Äther als besonderen Träger nötig haben, warum soll es nicht ohne solchen, selbständig, substantiell, existieren können? Auch die Elektronen, auch die Bausteine der gewöhnlichen Stoffe sind nur Wirkungsfähigkeiten. Wenn sie nicht als Zustände eines Äthers aufgefaßt zu werden brauchen, wenn sie als selbständig, als keines Trägers bedürftig, als substanzartig betrachtet werden können, warum dann nicht auch die Felder, die zu ihnen gehören bzw. von ihnen in den Raum hinausgesandt werden?

Vergleichen wir zur Klärung der Sachlage noch einmal die drei in Frage kommenden Theorien, die wir kurz als Fernwirkungstheorie, Ätherzustandstheorie und Feldstofftheorie bezeichnen können. Der fundamentale Unterschied zwischen denselben liegt in der verschiedenen Auffassung des elektrischen und magnetischen Feldes. Für die Fernwirkungstheorie ist das Feld einfach der geometrische Raum, in dem sich die Fernwirkungen einer Ladung oder eines Magneten auf geeignete Objekte geltend machen können; die Fernwirkung ist eine unmittelbare; sie ist nicht etwa durch das Feld vermittelt; denn das Feld ist nicht etwas Reales im Raum und kann daher auch keine Wirkungen vermitteln. Für die Ätherzustandstheorie ist das Feld etwas Reales, eben ein realer Ätherzustand, und dieser vermittelt die scheinbaren Fernwirkungen. Nach der Feldstofftheorie ist das Feld ebenso etwas Reales, das die scheinbaren Fernwirkungen auf die wahrnehmbaren Objekte vermittelt; aber dieses Reale ist nicht ein Zustand, der von einer Substanz getragen werden müßte, die als Träger des Feldes noch hinzu anzunehmen wäre, sondern es ist selbständiger Existenz fähig, es ist etwas Substanzartiges.

Vergleichung der modernisierten Fernwirkungstheorie, der Ätherzustandstheorie und der Stofftheorie des Feldes.

Die Fernwirkungstheorie hat den Vorzug, daß sie sich an das Wahrnehmbare hält. Der Konduktor einer Elektrisiermaschine zieht etwa ein Korkstückchen an. Wir sehen die auf das vom Konduktor entfernte Korkstückchen ausgeübte Wirkung; aber wir sehen nicht das elektrische Feld und seine Vermittlung. Die Fernwirkungstheorie verzichtet darauf, ein reales Feld, das doch nicht wahrnehmbar ist, anzunehmen. Im übrigen kann sie das Feld als fiktiven Hilfsbegriff in ganz entsprechender Weise verwenden, wie die Ätherzustandstheorie und die Stofftheorie das reale Feld bei ihren Betrachtungen verwenden.

Vorzüge und Nachteile der Fernwirkungstheorie.

Auch der Fernwirkungstheoretiker kann sagen: Um eine elektrische Ladung (einen Magneten) besteht ein elektrisches (magnetisches) Feld; Veränderung des elektrischen Feldes ruft ein magnetisches Feld hervor; Veränderung des magnetischen Feldes ruft ein elektrisches Feld hervor (was kürzlich in schöner direkter Weise — Bewegung eines gewöhnlichen Körpers in diesem Feld — nachgewiesen wurde; Richarz und Henrich 1910); Änderungen des Feldes pflanzen sich mit Lichtgeschwindigkeit fort. Der Fernwirkungstheoretiker wird auch die genauere mathematische Formulierung der Zusammenhänge zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Feld, die Maxwell in seinen Gleichungen gegeben hat, durchaus akzeptieren. Er hat nur daran festzuhalten, daß die Felder nichts Reales, sondern fiktive Hilfsvorstellungen sind; wenn von einem elektrischen Feld an einer bestimmten Stelle die Rede ist, so heißt dies nur, daß an dieser Stelle eine elektrische Fernwirkung eintreten wird, wenn ein Objekt da ist, an dem dieselbe ausgeübt werden kann. Nach einer den modernen Forschungsergebnissen angepaßten Fernwirkungstheorie vollziehen sich die wahrnehmbaren Wirkungen der Elektrizität und des Magnetismus genau so wie nach der Ätherzustandstheorie (oder der Stofftheorie); diese wahrnehmbaren Wirkungen werden von denselben Gesetzen, den nämlichen Gleichungen beherrscht, nach denen die Faraday-Maxwell-Hertzsche Theorie solche Wirkungen bestimmt. Die Fernwirkungen vollziehen sich so, als ob sie in der Weise, wie die Maxwellsche Theorie es annimmt, durch Ätherzustände vermittelt würden, obgleich das nicht der Fall ist.

Es spricht gewiß zugunsten der Fernwirkungstheorie, daß sie sich an die wahrnehmbaren Wirkungen hält und die schwierige Ätherannahme vermeidet. Aber eine im angedeuteten Sinne modernisierte Fernwirkungslehre hat die bereits dargelegten ernsten Bedenken gegen sich.

Vorzüge der Stofftheorie des Feldes vor der Zustandstheorie.

Betrachten wir nun die Ätherzustandstheorie und die Stoff- oder Substanztheorie des Feldes, so stimmen beide darin überein, daß sie das unwahrnehmbare Feld als etwas Reales betrachten, nämlich als einen realen Zustand eines substantiellen Äthers (oder Raumes), bzw. als ein selbständiges, substantielles Reales, das einer tragenden Substanz nicht bedarf. Der Zusammenhang zwischen den elektrischen und magnetischen Richtungen des Feldes ist nach beiden Auffassungen von denselben Gesetzen und Formeln beherrscht; darum geben beide Auffassungen von fast allen Erscheinungen in übereinstimmender Weise Rechenschaft. In einer Hinsicht aber entsteht die Möglichkeit von Divergenzen zwischen der Zustands- und der Substanztheorie des Feldes. Ist das Feld ein Zustand eines Äthers (oder eines substantiellen Raumes), wird es von ihm gleichsam getragen, so entsteht die Frage, ob dieses tragende Etwas ruht oder sich bewegt, und diese Frage scheint eine verschiedene Antwort zu fordern, je nachdem man etwa von der Aberration oder vom Michelson-Morleyschen Versuch ausgeht. Ist das Feld aber etwas Substantielles, das sich selbständig durch den Raum bewegen kann, ohne von einer anderen Substanz getragen zu werden, so verschwindet jene Frage und jener Widerspruch. Darin liegt ein Vorzug der Stoff- oder Substanztheorie vor der Zustandstheorie. Einen weiteren Vorzug

aber darf man vielleicht darin erblicken, daß die Substanztheorie weniger Unwahrnehmbares annimmt als die Ätherzustandstheorie. Erstere nimmt nur dort etwas Reales an, wo ein Feld sich findet, wo Feldwirkungen auftreten, sobald nur ein Objekt da ist, an dem sie sich äußern können. Die Ätherzustandstheorie aber stellt hinter das sich äußernde reale Feld noch einen sich niemals äußernden substantiellen Träger desselben, den Äther. Auch wo kein Feld nachweisbar ist, wo für alle unsere Forschungsmittel das reine Nichts zu sein scheint, soll eine stoffartige Substanz, der Äther, sich finden.

Weinstein führt aus, daß, wenn ein einzelnes bewegtes Elektron einen elektrischen Strom repräsentieren solle, es eine reale Nachwirkung in seiner Bahn, etwa eine Aufwühlung im Äther, zurücklassen müsse. Wir brauchen auf die Frage hier nicht einzugehen; es sei nur bemerkt, daß eine reale Spur hinter dem bewegten Elektron auch für die Stofftheorie des Feldes leicht vorstellbar wäre; sie könnte aus einem substantiellen Schweif des Elektrons bestehen, könnte irgendwie in der Konstellation des Feldstoffes, welcher das Elektron umgibt, gegeben sein.

Jedenfalls wäre es zu begreifen, wenn durch die Stoffhypothese des Feldes der Äther, dies Kreuz der Physik, aus der Wissenschaft entfernt werden könnte. Das wäre die gründlichste Beseitigung der Schwierigkeiten, zu denen er Anlaß bot. Ist das Vakuum des Weltraumes, durch das die Planeten kreisen, wirklich leer, so verstehen wir, warum kein merklicher Widerstand ihren Lauf hemmt. Freilich erstrecken sich elektrische und magnetische Felder in das Vakuum hinein; freilich durcheilen die Feldstoffe dasselbe in Form von Licht, Wärme usw. Aber wo die gewöhnlichen Körper mit den Feldstoffen zusammentreffen, da erfahren die ersteren in der Tat reale Wirkungen (z. B. den Strahlungsdruck), während der Äther als solcher sich gar nicht bemerkbar macht.

Dynamistische Auffassung der Stofftheorie des Feldes und modernisierte Fernwirkungstheorie.

Die Stofftheorie des Feldes geht aus der Ätherzustandstheorie hervor, wenn aus dem unselbständigen Zustand, aus der Veränderung des Äthers, ein selbständiges, substanzartiges Reales gemacht wird; damit wird der tragende Äther überflüssig, und das Vakuum wird wieder zum wirklich — nicht nur scheinbar — leeren Raum. In der Anerkennung eines leeren Raumes stimmt die Stofftheorie des Feldes mit der Fernwirkungstheorie überein. Eine Verwandtschaft der Stofftheorie des Feldes mit der modernisierten Fernwirkungstheorie tritt trotz aller Gegensätzlichkeit besonders dann hervor, wenn man den Stoff, das Feld, dynamistisch interpretiert, als Kraft oder Verband von Kräften auffaßt. Wenn eine schwingende Ladung z. B. in einem fernen Leiter Induktionsströme hervorruft, so nimmt die Fernwirkungstheorie an, daß von der bewegten Ladung Kräfte auf die elektrischen Partikelchen in jenem Leiter ausgeübt werden, Kräfte, die über den leeren Raum hinweg sich allerdings erst nach einer gewissen Zeit geltend machen; die dynamistisch interpretierte Feldstofftheorie sagt dasselbe, fügt aber hinzu, daß diese Kräfte als selbständige Realitäten den leeren Raum von der schwingenden Ladung bis zum Leiter durchwandern und eben darum erst nach einer gewissen Zeit an letzterem ankommen.

Die dynamistisch interpretierte Feldstofftheorie bedeutet in gewissem Sinne

eine Vermittlung zwischen Fernwirkungstheorie und Faraday-Maxwellscher Theorie; sie hat jedenfalls Vieles für sich.

Mit der Feldstofftheorie ist ohne weiteres eine Emissionstheorie des Lichtes gegeben. Der Erneuerung der Emissionstheorie durch Ritz (1908) stehen freilich noch erhebliche Schwierigkeiten im Wege. Doch dürften diese durch geeignete Ausgestaltung der Hypothese vielleicht zu überwinden sein. Einstein hat schon vor Ritz die Emissionstheorie wieder aufgenommen (1905) und ihr einen ganz besonderen Charakter gegeben durch seine kühne, die Physiker aufs lebhafteste beschäftigende Relativitätstheorie. Die Einsteinsche und die Ritzsche Emissionslehre unterscheiden sich zunächst durch ihre Annahmen bezüglich der Lichtgeschwindigkeit. Ritz macht die plausible Annahme, daß die Geschwindigkeit des von einer Lichtquelle ausgeschleuderten Lichtes von dem Bewegungszustande derselben abhängt. Ein auf uns zueilender Stern würde uns den Lichtstoff mit größerer Geschwindigkeit zusenden als ein ruhender oder gar ein sich fortbewegender Stern, geradeso wie ein auf die Küste zusteuerndes Kriegsschiff dieser die Granaten mit größerer Geschwindigkeit zusendet als ein ruhendes oder gar ein sich entfernendes Kriegsschiff. Nach Einsteins „Postulat von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit" (das übrigens neuerdings von seinem Urheber eingeschränkt bzw. modifiziert worden ist) würden das von einem sich nähernden Stern und das von einem sich entfernenden Stern uns zugeschleuderte Licht für unsere Beobachtung gleiche Geschwindigkeit aufweisen. Im Prinzip wäre es einfach, durch Feststellung der Geschwindigkeit des Lichtes sich bewegender Sterne zwischen Ritz und Einstein zu entscheiden. Praktisch ist die Entscheidung wegen der Schwierigkeit der Messungen noch nicht erfolgt. de Sitter meinte, daß astronomische Beobachtungen Konstanz der Lichtgeschwindigkeit beweisen. Von anderer Seite wurde angegeben, daß Beobachtungen an Doppelsternen Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung der Lichtquelle wahrscheinlich machen.

Aus der Annahme der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ergeben sich paradoxe Konsequenzen, die von Einstein in seiner Relativitätslehre mit großer Kühnheit verfolgt worden sind. Ihre Bedeutung erstreckt sich auf die ganze Physik und über deren Grenzen hinaus. Doch ist diese Theorie noch im Werden und heiß umstritten. Einstein selbst hat sie neuerdings erheblich modifiziert. Von manchen Physikern wurde sie als Verirrung betrachtet; Abraham sieht sie als gescheitert an und spricht bereits von ihrem ehrenvollen Begräbnis. Auf der anderen Seite stehen nicht wenige begeisterte Anhänger der neuen Relativitätstheorie, die in mehreren, teils gemäßigten, teils sehr radikalen Formen vertreten wird.[1]

---

[1] Vergl. wiederum den Physikband dieses Sammelwerkes und E. Becher, Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung. Beide Werke behandeln die Relativitätstheorie in elementarer Weise.

DAS GESCHEHEN AN DEN UNBELEBTEN KÖRPERN.

Wir haben die Struktur der Materie betrachtet, indem wir zunächst die gewöhnlichen Körper und ihre Bausteine ins Auge faßten; wir haben dabei Umschau gehalten in der Welt des Kleinen und Kleinsten, die sich unseren Sinnen verbirgt und nur dem geistigen Auge sichtbar wird. Dann haben wir uns gefragt, ob der Raum zwischen den gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen leer sei, oder ob vielleicht auch im „leeren" Raum noch etwas Körperliches, Stoffartiges existiere.

Indem wir so untersuchten, wie die körperliche Welt aufgebaut ist, woraus sie besteht, ergaben sich uns zugleich schon mancherlei Beiträge zur Antwort auf die weitere Frage, was in ihr geschieht. Die Körperwelt stellt eben kein unveränderliches Sein dar; man stößt überall auf Veränderung, auf Geschehen, wenn man sie im großen oder kleinen betrachtet. Wenn wir die Gesamtnatur in ihren wesentlichen Grundzügen kennen lernen wollen, so müssen wir der Frage nach der Struktur der Körperwelt und ihren Bausteinen, kurz der Frage nach dem körperlichen Sein, die nach dem körperlichen Geschehen zur Seite stellen. Wir müssen die gelegentlichen Ergebnisse, die sich uns bisher darboten, zusammenfassen und zu einer Gesamtdarstellung des Geschehens in der Körperwelt ergänzen. Dabei werden wir zunächst die eigenartigen Verhältnisse in der lebenden Natur, die eine Sonderstellung einzunehmen scheinen, außer Betracht lassen.

Die hervorragende Stellung der Bewegungsvorgänge im Naturgeschehen.

Allgemeinere Motive und Argumente für die kinetische Naturauffassung. Sowohl bei einem Blick in den Makrokosmos der Gestirne wie bei einer Umschau im Mikrokosmos der Moleküle, Atome und Elektronen fällt eine besondere Art des Geschehens vor anderen immer wieder in die Augen: die Bewegung. Wie in den unermeßlichen Weiten des Weltraumes Sonnen dahinziehen, Nebel wirbeln, Planeten und Monde kreisen, so eilen im engen Luftraum eines Fingerhutes die Moleküle durcheinander, und im Molekül zittern und kreisen noch winzigere Bausteine, wie elektrische Partikelchen, aus denen zuletzt die ganze Masse der unsichtbar kleinen Moleküle wie die der majestätischen Sonnen aufgebaut sein mag. Im Lichtstrahl aber, der von diesen winzigsten Teilchen, den schwingenden oder kreisenden Elektronen, ausgesandt, die größten Weiten des Weltalls durchmißt, rasen vielleicht stoffartige elektrischmagnetische Felder, möglicherweise den Atomen vergleichbare Strahlungsquanten dahin, mit einer Geschwindigkeit, die kein gewöhnlicher Körper erreichen kann.

So mag der Leser bereits den Eindruck gewonnen haben, daß vor allen anderen Vorgängen, vor jeder anderen Veränderung, eine besondere Bedeutung im körperlichen Geschehen der Bewegung, der Ortsveränderung zukommen müsse. Und in der Tat, wenn die Körperwelt die Welt der im Raume existierenden, raumerfüllenden realen Dinge ist, so kann es nicht in Erstaunen versetzen, wenn die Erfahrung und ihre theoretische Verarbeitung lehren, daß im Geschehen, in der Veränderung innerhalb dieser räumlichen Welt räumliche Veränderung, Ortsveränderung, d. i. Bewegung, eine besondere, hervorragende Rolle spielt.

Die hervorragende Rolle der Bewegung innerhalb des ganzen körperlichen Geschehens, des gesamten Naturgeschehens, kommt zum Ausdruck in der kinetischen Naturauffassung. Wir haben auf diese bedeutsame Lehre bereits bei unseren erkenntnistheoretischen Überlegungen hingewiesen. Dabei ergab sich, daß die Erkenntnistheorie nicht entscheiden kann, ob und inwieweit die kinetische Naturauffassung im Rechte ist. Die Entscheidung muß — freilich unter Berücksichtigung erkenntnistheoretischer Gesichtspunkte — auf Grund der naturwissenschaftlichen Erfahrung angestrebt werden. Für die vorwissenschaftliche Auffassung mit ihrem naiven Vertrauen zur Sinneswahrnehmung gibt es außer der Bewegung noch andere Arten des Geschehens, der Veränderung in der Körperwelt, wie etwa das Wärmer- oder Kälterwerden des Wassers im Teiche, die Rötung des reifenden Apfels, das Verklingen des Abendläutens. Erkenntnistheoretische Erwägung zeigt, daß das Warm und Kalt und Rot usw., wie wir es in der Sinneswahrnehmung erfassen, den Außenweltsdingen nicht zugesprochen werden darf, daß hinter diesen Empfindungsqualitäten Außenweltsrealitäten sich verbergen können, die gänzlich von ihnen verschieden sein mögen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, daß ein solches Geschehen, wie es die Rötung, überhaupt die Veränderung einer Sinnesqualität darstellt, auf eine ganz andere Veränderung in der Außenwelt, z. B. auf Bewegungsgeschehen, zurückgeführt werden kann. So bereitet die erkenntnistheoretische Überwindung des naiven, vorwissenschaftlichen Realismus sachlich der kinetischen Naturauffassung den Boden. Freilich, erstere kann nur die bloße Möglichkeit dartun, daß alles körperliche Geschehen auf Bewegungsgeschehen zurückgeführt werden kann; sie läßt aber auch die Möglichkeit bestehen, daß es anderes Geschehen in der Körperwelt gibt, etwa qualitative Veränderung, die vergleichbar wäre der von uns erlebten Veränderung der Sinnesqualitäten, dem Warmwerden im Strahl der Sonne usw.

Erkenntnistheoretische Möglichkeit der kinetischen Naturauffassung.

Darum müssen andere positive Gründe für die kinetische Naturanschauung aufweisbar sein, wenn diese mehr sein soll als eine bloße, von der Erkenntnistheorie zugelassene Möglichkeit, wenn sie eine wahrscheinliche Theorie darstellen soll.

Allgemeinste positive Motive der kinetischen Naturauffassung. Durchsichtigkeit und Einheitlichkeit der letzteren.

In der geschichtlichen Entwicklung der Naturerkenntnis, in welcher die kinetische Auffassung eine bedeutende, nach der Renaissance eine geradezu beherrschende Rolle gespielt hat, haben mancherlei Motive und Argumente diese Auffassung zur Geltung gebracht. Die Bewegung ist eine ebenso verbreitete wie auffällige und für den Menschen bedeutsame Art des Geschehens; sie kann daher leicht als Prototyp alles Geschehens erscheinen. Der Bewegungs-

vorgang scheint ferner das denkbar einfachste und durchsichtigste Geschehen zu sein, solange nicht dialektischer Spürsinn auch in ihm verborgene Schwierigkeiten entdeckt hat. So kann es dem nach Klarheit und Einfachheit strebenden Geist wohl als befriedigendes Ziel vorschweben, alle Veränderung auf diesen verbreiteten, wohlbekannten, einfachen und klaren Urtyp der Veränderung zurückzuführen. Dabei scheinen sich noch andere Vorteile zu ergeben. Unser Denken sucht nach Beharrendem im Strom des Geschehens, nach unveränderlichen Realitäten, die dem Geist einen Ausgangs- und Haltepunkt bieten, von dem aus er auch das wechselnde Geschehen überschauen und beherrschen lernt. Gerade beim Bewegungsgeschehen, bei der Ortsveränderung, ist dieses Beharrende, dieser Ruhepunkt für unser Denken, sofort gegeben; der Bewegungsvorgang läßt ja das bewegte Ding unverändert bestehen, während nur seine räumlichen Beziehungen wechseln. Ferner erscheint der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung besonders einfach und durchsichtig, wenn es sich bei beiden um Bewegungen handelt, wenn z. B. die Bewegung der stoßenden Billardkugel die der gestoßenen verursacht. Da erscheint der Kausalzusammenhang einfach als eine Übertragung von Bewegung, als ein Fortbestehen, wenn man so will ein Beharren der Bewegung.

Das Gesamtbild der Natur scheint eine anziehende Durchsichtigkeit und Einheitlichkeit zu gewinnen, wenn alle Veränderung, alles Geschehen auf Bewegung zurückführbar ist. In ihrer Klarheit lag bereits die Stärke der kinetischen (mechanischen) Weltanschauung der griechischen Atomistik.

Die frühzeitige Entwicklung der mathematischen Mechanik begünstigte die kinetische Naturauffassung.

Mit den glänzenden Erfolgen, welche die Anwendung der Mathematik auf die Naturwissenschaft, insbesondere auf die Mechanik, in der beginnenden Neuzeit mit sich brachte, ergaben sich neue Motive, die der kinetischen Naturauffassung zur Herrschaft verhalfen. Die Mechanik ist derjenige Teil der Physik, der zuerst zu höherer, mathematisch exakter Ausbildung, ja zu einer gewissen Vollendung gelangte. Da lag der Versuch nahe, alle übrigen Naturvorgänge auf mechanische, also auf Bewegungs-Vorgänge zurückzuführen, d. h. eine kinetische Naturauffassung zu begründen, wie es in der Tat in der beginnenden Neuzeit geschah. Die Mechanik aber gelangte zu dieser frühzeitigen Ausbildung, welche ihr zu einer so dominierenden Stellung in der ganzen Naturanschauung verhalf, weil die mechanischen Verhältnisse der Bewegung und des Gleichgewichtes der Körper sich leicht der Beachtung aufdrängen, weil sie wegen ihrer mannigfachen praktischen Bedeutung die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, endlich aber, weil sie einer mathematischen Behandlung am ehesten und besten zugänglich sind. Der Begriff der Bewegung, der Ortsveränderung, führt auf Raum und Zeit zurück; Raum- und Zeitverhältnisse und damit auch die Bewegungsverhältnisse sind ohne weiteres von der Mathematik bearbeitbar. So ergab sich die mathematische Behandlung der Mechanik, der Lehre von der Körperbewegung, viel einfacher als etwa diejenige der Akustik, der Lehre vom Schall. Die so erfolgreiche mathematische Methode schien aber ohne weiteres auf alles Naturgeschehen im Prinzip übertragbar, wenn alles Naturgeschehen im Grunde ein mechanisches war, ein Bewegungsgeschehen darstellte.

Einfluß der Himmelsmechanik auf die kinetische Naturauffassung.

Der eindrucksvolle Erfolg der mathematisch-mechanischen Methoden in der Astronomie, wie er in und nach Newtons großen Leistungen sich zeigte, wirkte auf die ganze Naturauffassung zurück, bestärkte die mechanisch-kinetische Anschauung und begünstigte eine besondere Ausprägung derselben. Die mechanisch-kinetische Auffassung war schon bei Demokrit mit der Atomistik verbunden aufgetreten; diese Vereinigung kam auch in der beginnenden Neuzeit wiederum zur Geltung, wenngleich an die Stelle der Atomistik im strengen Sinne, die einen leeren Raum anerkennt, vielfach andere, jedoch an physikalischer Bedeutung verwandte Mikrostrukturlehren traten, wie Descartes' Korpuskulartheorie, die den leeren Raum leugnete. In der Tat besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen den Mikrostrukturlehren (mögen sie nun Atom- oder Korpuskulartheorien heißen, eine absolute Grenze der Teilbarkeit, einen leeren Raum anerkennen oder nicht) einerseits und den mechanischen, kinetischen Hypothesen andererseits. Durch die Annahme von Mikrostrukturen, die nicht absolut starr sind, wird die Vorstellung mannigfacher unsichtbarer Bewegungen (Molekular-, Atom-, Elektronenbewegungen) in der Welt des unwahrnehmbar Kleinen möglich; dadurch werden wir instand gesetzt, die mannigfachen Naturvorgänge auf unsichtbare Bewegungsvorgänge zurückzuführen. So haben wir ja z. B. das Leuchten auf Schwingungsbewegungen unsichtbarer Strukturelemente zurückgeführt. Die Mikrostrukturlehre, die Atomistik im weitesten Sinne, dient der kinetischen Naturauffassung, indem sie die Annahme mannigfacher unwahrnehmbarer Bewegungen möglich macht, deren die kinetische Naturauffassung bedarf. Als Newton und seine Nachfolger nun mit den Hilsmitteln der mathematischen Mechanik zu einer glänzenden Erklärung und zu Vorausbestimmungen der Bewegungen von Himmelskörpern gelangten, da wirkte ihr Erfolg als ein Ideal, das der Verbindung von Strukturlehre und kinetischer Auffassung eine Stütze und eine genauere Ausprägung gab. Man kam bewußt oder unbewußt dazu, die Vorgänge in der kleinen Welt der Moleküle oder Atome nach Analogie der Bewegungen in der großen Welt der Himmelskörper aufzufassen. Die winzigen Strukturteilchen sollten nach ähnlichen Gesetzen aufeinander wirken und sich bewegen wie die Himmelskörper unseres Planetensystems. So schien die Hoffnung berechtigt, daß man dereinst von den Bewegungsvorgängen im Mikrokosmos der Materie ebenso exakt würde Rechenschaft geben können wie von den Bewegungen des astronomischen Makrokosmos, daß man so das ganze Weltgeschehen im Größten wie im Kleinsten als ein mathematisch-mechanischer Berechnung zugängliches Bewegungsgeschehen würde begreifen können. Auf dem Boden einer solchen Anschauung ist die Fiktion der Laplaceschen Weltformel entstanden, nach der sich der ganze Lauf der Weltmaschine in Vergangenheit und Zukunft berechnen lassen sollte, wie man etwa den Verlauf der Bewegungen im Sonnensystem in die Vergangenheit und die Zukunft hinein rechnerisch verfolgen kann. Die nach dem Ideal der Himmelsmechanik orientierte kinetisch-atomistische Naturauffassung hat lange die exakten Naturwissenschaften beherrscht. Ihren Höhepunkt erreichte sie, als W. Weber seine atomistische Fernwirkungstheorie der Elektrizität aufstellte, deren wir bereits

Erwähnung getan haben. Noch Helmholtz hat ursprünglich ganz unter dem Eindruck des der Himmelsmechanik entlehnten Ideals gestanden. Als dann durch den Sieg der Faraday-Maxwellschen Lehren die Fernwirkungsannahmen zurückgedrängt wurden, mußte dies Ideal an Kraft verlieren, das überall mit Fernwirkungen rechnete, da ja die die Himmelsbewegungen beherrschende Gravitation als eine Fernkraft erschien und als solche angesehen worden war. Die Bedeutung der kinetischen und der atomistischen Lehren aber war mit der Überwindung oder Umprägung des der Himmelsmechanik entnommenen Ideals, mit der Ablehnung von ihm entsprechenden speziellen Ausgestaltungen jener Lehren, keineswegs abgetan.

Nicht nur die Naturwissenschaft, sondern auch die eng mit ihr zusammenhängende Philosophie der beginnenden Neuzeit hat die kinetische Naturauffassung zu begründen versucht. Kein geringerer als Descartes hat sie mit weitgehender und kühner Konsequenz ausgestaltet. Er wurde dabei von jenen Motiven geleitet, welche die großen Naturforscher seiner Zeit bestimmten. Die Klarheit und Deutlichkeit der mechanischen Verhältnisse gegenüber der Dunkelheit der Qualitäten, die die aristotelisch-scholastische Naturauffassung beherrschten, wird von den Philosophen wie von den Naturforschern betont. Die Anschauung, daß die Natur mathematisch und mechanisch geordnet sei, liegt im Geiste der Zeit, so daß sie selbst in mystischen Spekulationen durchklingt. Bei Descartes werden solche im Zeitgeist liegenden Motive und Argumente verschärft in seiner Lehre vom Wesen der Körper. Die einzige Grundeigenschaft der Körper ist die Ausdehnung; die anderen körperlichen Eigenschaften, wie die Gestalt oder die Größe der Körper, sind nur speziellere Ausprägungen, Modifikationen dieser Grundeigenschaft (dieses ,,Attributes") der Ausdehnung. So ist überall, wo Ausdehnung, wo Raum ist, auch ein Körper; es gibt keinen leeren Raum. Und die einzige Veränderung, die in dieser Welt der im Grunde nur-ausgedehnten, nur-räumlichen Dinge möglich ist, ist die räumliche Veränderung; alles Körperliche, alles Naturgeschehen ist also Bewegung.

Descartes' philosophische Theorie der Materie und die kinetische Auffassung.

Diesen Beweis für die kinetische Naturauffassung können wir nicht anerkennen, weil wir die zugrunde liegende Theorie der Materie nicht billigen. Die Ausdehnung (nach drei Dimensionen) macht zwar das Wesen eines gedachten mathematischen, nicht aber dasjenige eines realen Körpers aus. Dieser ist nicht nur ausgedehnt, sondern er besitzt auch andere reale Eigenschaften oder Kräfte; er ist ein Verband von Kräften. Es ist daher ein Geschehen denkbar, bei dem das Reale des Körpers, seine Eigenschaften oder Kräfte sich ändern; diese Veränderung wäre keine Ortsveränderung, keine Bewegung, obgleich sie mit Bewegung verbunden auftreten könnte. Die dynamische Theorie der Körper macht also jene cartesianische Begründung der kinetischen Naturauffassung hinfällig.

Kritik der angeführten Motive und Argumente für die kinetische Naturauffassung.

Aber auch die anderen angeführten Motive und Argumente haben keineswegs zwingende Kraft, obwohl einige derselben die Durchführbarkeit der kinetischen Naturauffassung erwünscht erscheinen lassen mögen. Doch eine Theorie

ist noch nicht dadurch befriedigend gesichert, daß ihre Durchführbarkeit wünschenswert erscheint. — Der Begriff der Bewegung, der zunächst so klar scheint, birgt große Schwierigkeiten in sich, die in dem Problem zutage treten, ob es eine absolute Bewegung gibt. Wir kennen Bewegungen unseres Körpers relativ zur Erde, die Bewegung der Erde relativ zur Sonne usw.; aber dürfen wir auch von einer Bewegung, die ein Körper an sich hat, sofern er nicht in Relation zu einem anderen betrachtet wird, von einer absoluten Bewegung sprechen? Da liegen erhebliche, noch immer nicht überwundene Schwierigkeiten. — Wenn es ferner den menschlichen Geist an der kinetischen Naturauffassung sympathisch berührt, daß bei der Bewegung, auf die sie alle Veränderung zurückzuführen strebt, der bewegte Gegenstand selbst unveränder; bleibt und so dem Denken einen Ruhepunkt bietet, so ist es doch fraglich, ob die Wirklichkeit selbst dieser sympathisch berührenden Auffassung entsprichtt macht es doch die Wirklichkeit unserem Denken nicht immer leicht und bequem. Der Ursache-Wirkungszusammenhang mag uns plausibler erscheinen, wenn Ursache und Wirkung Bewegungen sind; schließlich müssen wir in diesem wie in anderen Fällen doch das Tatsächliche hinnehmen wie es ist, auch wenn es uns weniger plausibel dünkt. Die Einheitlichkeit des Geschehens, die Gleichartigkeit aller Naturvorgänge, welche von der kinetischen Naturauffassung angenommen wird, hätte sicherlich etwas intellektuell Befriedigendes für uns; daraus folgt jedoch nicht, daß die Wirklichkeit dieser Naturauffassung entsprechen müsse. Wenn die Mechanik den zuerst exakt gestalteten Teil der Physik bildet, so folgt daraus gewiß nicht, daß alles Naturgeschehen auf mechanische, auf Bewegungsvorgänge zurückführbar sei. Diese Zurückführbarkeit mag als wünschenswert erscheinen, da sie die Durchführbarkeit exakter mathematischer Methoden in der ganzen Naturwissenschaft erhoffen ließe. Doch wir wissen weder sicher, ob alles Naturgeschehen in ähnlicher Weise der Berechnung zugänglich ist wie die einfachen mechanischen Vorgänge, noch müssen wir an der rechnerischen Behandlung eines Naturvorganges von vorne herein verzweifeln, wenn er kein mechanisches, kein Bewegungsgeschehen darstellt. Übrigens ist die ältere, klare, klassische Mechanik durch manche modernen Hypothesen in Bedrängnis versetzt worden. Von der modernen elektromagnetischen Auffassung der Masse war bereits die Rede. Solche neuzeitlichen Hypothesen nehmen der Mechanik ihre frühere Sonderstellung. Sie nehmen ihr auch viel von ihrer klassischen Einfachheit. Die einfachen Gesetze der klassischen Mechanik sollen Annäherungen darstellen, die nur dann weitgehende Genauigkeit besitzen, wenn keine sich der Lichtgeschwindigkeit nähernde Geschwindigkeiten im Spiele sind.

Jedenfalls müssen wir bei der Beurteilung der kinetischen Naturauffassung mehr auf die einzelnen Arten von Naturvorgängen eingehen und zusehen, ob sie die Zurückführung auf Bewegungsvorgänge fordern, nahe legen oder doch zulassen. So allein können wir schließlich ein, wenn nicht sicheres, so doch wahrscheinliches Urteil darüber gewinnen, ob und inwieweit die kinetische Naturauffassung berechtigt ist.

Es scheint allerdings ein allgemeinerer Gedankengang zur Begründung derselben möglich zu sein, der sich auf die Ergebnisse stützt, welche die Erforschung der Struktur der körperlichen Welt und ihrer letzten Bausteine gezeitigt hat. Wir wollen zunächst die gewöhnliche Materie ins Auge fassen und erst dann vom Äther und den Feldstoffen sprechen. Als letzte Bausteine der gewöhnlichen Körper gelten zurzeit die Elektronen und ev. positive Atomkerne eigener Art. Die kleinen elektrischen Teilchen sind der Bewegung fähig; andere Veränderungen waren aber an ihnen nicht nachweisbar; wenn die Elektronen bei der Bewegung im Sinne der Lorentzschen Annahme ihre Gestalt ändern, so kommt auch dies auf ein Bewegungsgeschehen, auf Verschiebungen innerhalb der einzelnen Elektronen, hinaus. Wenn nun an den letzten Bausteinen der Körper keine andere Veränderung nachweisbar ist, so müssen wir alles Geschehen in der Körperwelt auf Bewegung an (und ev. in) diesen Bausteinen zurückführen. Wenn z. B. ein lichtausstrahlender Körper allmählich dunkel wird, so werden wir annehmen, daß schwingungsartige Elektronenbewegungen in ihm abnehmen; wenn eine Wasserstoff-Chlormischung sich in das von ihr recht verschiedene Salzsäuregas umwandelt, so führen wir dies auf eine Bewegung, eine Umordnung der Atome zurück, bei welcher Wasserstoff- und Chloratome zu neuen Molekülen zusammentreten.

Ableitung der kinetischen Auffassung aus der Lehre von den letzten Bausteinen der Körperwelt.

Die kinetische Auffassung alles Geschehens an der gewöhnlichen Materie ergäbe sich uns also einfach aus der dargelegten Ausgestaltung der Atomistik (im weiteren Sinne), insbesondere daraus, daß wir an den Bausteinen der Materie keine Veränderung außer der Bewegung feststellen können. Wenn wir uns dem im „leeren" Raume sich abspielenden Geschehen zuwenden, so finden wir etwas schwierigere Verhältnisse vor. Nehmen wir die Faraday-Maxwellsche Äthertheorie an, so müssen wir als Geschehnisse im Äther Zustandsänderungen anerkennen. Es fragt sich, worin das Wesen dieser elektrischen und magnetischen Zustandsänderungen besteht. Wir müssen die durch dieselben im Äther entstehenden Zwangszustände als gerichtet betrachten; wir wissen etwas über diese Richtungen; wir können ferner angeben, in welcher Weise die Zustandsänderungen sich fortpflanzen. Aber wir wissen durchaus nicht, worin die Änderungen im Äther bestehen und können daher auch nicht sagen, ob sie als Bewegungen, etwa in einer feinen Ätherstruktur, aufzufassen sind. Zwar gebraucht man zur Verdeutlichung Bilder, in denen von Rotationen und Verschiebungen im Äther die Rede ist; man vergleicht die Zwangszustände des Äthers mit elastischen Spannungen, bei denen es sich um Verschiebungen der Moleküle aus ihren Gleichgewichtslagen handelt. Aber das sind schließlich grobe Fiktionen und hinkende Vergleiche, die der Wirklichkeit nicht einmal angenähert entsprechen können; sie vermögen höchstens darzutun, daß möglicherweise jene Ätherveränderungen Bewegungsvorgänge darstellen können. Für diese Vermutung kann man noch den Zusammenhang von Äthervorgängen mit Bewegungen elektrischer Ladungen geltend machen. Solche Bewegungen rufen Äthervorgänge hervor, und umgekehrt bewirken Äthervorgänge wieder Bewegungen. Der wechselseitige Zusammenhang zwischen Äthervorgängen und Bewegungen kann die Annahme

Eine kinetische Auffassung der Vorgänge im Vakuum ist möglich, jedoch nicht notwendig.

nahelegen, daß auch die unbekannten Vorgänge im Äther Bewegungsvorgänge sind. Er beweist dies aber keineswegs. Bewegungen könnten auch andere Vorgänge bewirken und von ihnen bewirkt werden. Jene Vorgänge, jene Änderungen im Äther, könnten qualitative Veränderungen darstellen, die im Prinzip etwa dem Übergang von Weiß in Rot vergleichbar wären. Die moderne Ätherhypothese (die Zustandshypothese des elektrischen und magnetischen Feldes) fordert also die kinetische Auffassung der Äthervorgänge nicht; sie schließt sie jedoch keineswegs aus (Maxwell).

Die Stofftheorie des elektrischen und magnetischen Feldes scheint eher zur kinetischen Auffassung der Vorgänge im „Vakuum" hinzudrängen. Sie fordert ja Bewegungen der Feldstoffe, die z. B. im Lichtstrahl von schwingenden Elektronen forteilen. Immerhin ist noch nicht ausgemacht, ob für die Feldstofftheorie die kinetische Auffassung auch völlig ausreichend ist. In der Umgebung eines ruhenden Elektrons finden wir nur ein elektrisches, nicht aber ein magnetisches Feld. Gerät das Elektron aber in Bewegung, so kommt ein magnetisches Feld zum Vorschein. Woher stammt dieses Feld? Tritt etwa aus dem Elektron ein magnetischer Feldstoff aus, der vorher schon in ihm steckte? Dann hätten wir im Auftreten des magnetischen Feldes einen reinen Bewegungsvorgang vor uns. Wir haben schon erwähnt, daß man durch theoretische Betrachtungen zu dem Ergebnis gekommen ist, daß ein licht- oder wärmeausstrahlender Körper zugleich Masse verliert; dies würde zu der Auffassung stimmen, daß ein schwingendes Elektron (die eigentliche Quelle der Strahlung) elektrische und magnetische Feldstoffe aus sich herausschleudert, welche die Strahlen bilden. So kämen wir zu einer rein kinetischen Theorie der Vorgänge im Vakuum, der Feld- und Strahlungsvorgänge.

Immerhin ließe die Feldstofftheorie auch eine andere Ausgestaltung zu. Wenn bei der Bewegung eines Elektrons in seinem Felde magnetische Kräfte auftreten, so könnte dies eine Modifikation des stofflichen Feldes darstellen, die nicht als Bewegung zu betrachten wäre, sondern etwa als eine qualitative Veränderung.

Ergebnis und Kritik der letzten Ableitungen.

Wir kommen also zu dem Ergebnis, daß unsere Anschauungen über den Aufbau der gewöhnlichen Materie zur kinetischen Auffassung des an ihr sich abspielenden Geschehens hindrängen, und daß diese Auffassung auch für das Geschehen im Vakuum zutreffend sein kann.

Notwendigkeit, die kinetische Auffassung der einzelnen Arten von Naturvorgängen empirisch zu begründen.

Indessen ist zu dem Versuch einer allgemeinen Ableitung der kinetischen Naturauffassung aus den Anschauungen über den Aufbau der Körperwelt ein wesentliches Bedenken zu äußern. Wir setzten dabei voraus, daß wir bei den letzten Bausteinen der Körper keine anderen Veränderungen außer Bewegungen anzuerkennen haben. Wir können diese Voraussetzung aber nur dann gelten lassen, wenn in der Tat alle die einzelnen Arten von Vorgängen in der Körperwelt auf Bewegungen zurückführbar erscheinen. Wir kommen also wiederum auf die Aufgabe zurück, die wesentlichen Arten der Naturvorgänge (wir denken zunächst nur an die tote Natur) ins Auge zu fassen und ihre Zurückführbarkeit auf Bewegungen zu prüfen.

Empirische Begründung der einzelnen kinetischen Hypothesen. Wir können nicht in Bausch und Bogen die kinetische Auffassung des ganzen Naturgeschehens ableiten. Wir müssen zusehen, ob sich die einzelnen Arten der Naturvorgänge allesamt als Bewegungsvorgänge auffassen lassen; wir müssen die einzelnen kinetischen Auffassungen, wie die der Schallvorgänge und die der Wärmevorgänge, eine nach der anderen an Hand der Erfahrung prüfen. Nach dem Zeugnis unserer Sinne und der auf dieses sich verlassenden vorwissenschaftlichen Auffassung liegt ja keineswegs ein Bewegungsvorgang, sondern eine qualitative Änderung vor, wenn ein Stein im Sonnenschein sich erwärmt, oder wenn Eisen in feuchter Luft sich in Rost verwandelt.

Die Einteilung der Naturvorgänge kann der älteren Einteilung der Physik (und Chemie) entnommen werden. Zusammenhang der physikalischen Teildisziplinen und fortschreitend Vereinheitlichung der Physik.

Um nun einen systematischen Überblick über die verschiedenen Arten der Naturvorgänge zu gewinnen, deren kinetische Auffassung zu prüfen ist, erscheint es zweckmäßig, die von der Naturforschung durchgeführte Einteilung dieser Vorgänge zugrunde zu legen. Da wird zunächst zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen unterschieden. Die physikalischen Vorgänge werden dann in verschiedener Weise weiter eingeteilt. Die ältere Einteilung berücksichtigte vor allem, wie die verschiedenen Naturvorgänge sich unseren Sinnen darbieten, ob als Bewegungs-, als Schall-, als Wärme-, als Lichtvorgänge. Zu diesen Gruppen fügte sie dann noch diejenige der magnetischen und elektrischen Vorgänge hinzu. In der theoretischen Physik ist diese Einteilung überwunden; es ist eben nicht wesentlich für die Natur der physikalischen Vorgänge, ob und wie sie sich unseren Sinnen darbieten. Wir hörten bereits, daß z. B. Wärmestrahlen, Lichtstrahlen und unwahrnehmbare ultraviolette Strahlen wesensgleich sind. Für die moderne Physik gehört also die Lehre von der strahlenden Wärme mit der Lehre vom Licht durchaus zusammen, und beide gehören in die Lehre von Elektrizität und Magnetismus; handelt es sich doch um elektromagnetische Strahlungen. Die Akustik gehört nach der modernen Physik in die Mechanik, stellt einen speziellen Zweig derselben dar. So ist vieles vereinigt worden, was in der älteren Physik in gesonderten Teildisziplinen behandelt wurde. Die Verbindungen zwischen diesen Teilgebieten werden immer zahlreicher, und die alten Grenzen werden immer bedeutungsloser. Das von der Physik gelieferte Bild des körperlichen Geschehens scheint mit dem Fortschritt der Wissenschaft einheitlicher zu werden.

Für unsere Ziele aber erscheint es zweckmäßig, die ältere Einteilung zu benutzen, die sich an die Verschiedenheit anschließt, welche unseren Sinnen sich im Gebiete der körperlichen Vorgänge darbietet. Denn wir wollen wissen, ob die unserer Sinneswahrnehmung zunächst nicht als Bewegungen erscheinenden Vorgänge, wie Schall-, Wärme- oder Lichtvorgänge, im Grunde doch Bewegungsvorgänge sind. Da für die Mechanik, die Lehre von der Bewegung und Ruhe der Körper, die kinetische Auffassung selbstverständlich ist, hätten wir diese in den alten Gebieten der Lehre vom Schall, von der Wärme, vom Licht, vom Magnetismus und der Elektrizität zu prüfen; wir hätten zu fragen, ob die Schall-, Wärme-, Licht-, magnetischen und elektrischen und endlich die chemischen Vorgänge Bewegungsvorgänge darstellen.

Kinetische Theorien führen nicht nur Vorgänge, sondern auch Sinnes-Qualitäten auf Bewegungen zurück.

Die wohlbegründete kinetische Theorie des Schalles und die der Wärme führen nicht nur die Schall-Veränderungen und die Wärme-Veränderungen auf Bewegungsvorgänge zurück; sie fassen auch den unverändert fortbestehenden Schall selbst, den gleichmäßigen Ton einer Orgelpfeife etwa, und die unverändert fortbestehende Wärme selbst, z. B. die des Erdinnern, als Bewegungsvorgänge auf. Was also unseren Sinnen, unserem Ohr oder unserer Haut als eine besondere, ev. unveränderlich beharrende Qualität, als konstanter Schall oder konstante Wärme erscheint, das stellt nach jener kinetischen Auffassung ein Geschehen, einen Bewegungsvorgang dar. Durch diese kinetischen Theorien werden also Sinnesqualitäten, wie Schall oder Wärme, aus dem Bilde der Körperwelt eliminiert; sie werden durch Bewegungsvorgänge ersetzt. Auf die auf solche Elimination von Sinnesqualitäten durch die Naturwissenschaften sich beziehenden allgemeineren naturphilosophischen Fragen müssen wir unten zurückkommen. Hier war nur darauf hinzuweisen, daß die kinetischen Hypothesen der Physik nicht nur offenbare Vorgänge (wie z. B. die Erwärmung, das Warmwerden eines Steines) als Bewegungsvorgänge deuten, daß sie vielmehr auch Qualitäten, an denen sich solche Vorgänge, solche Veränderungen abspielen können, (wie die Qualität des Warmseins) als Bewegungsvorgänge betrachten lehren.

Prinzipielle Voraussetzungen der kinetischen Auffassung des Schalles und der Wärme.

Die Annahme, daß hinter den Sinnesqualitäten des Schalles oder der Wärme (und also auch hinter den Veränderungen dieser Qualitäten) sich Bewegungsvorgänge in der Außenwelt verbergen, setzt voraus, daß es solche verborgenen, nicht wahrgenommenen Bewegungen gibt, und daß derartige Bewegungen durch die Einwirkung auf unsere Sinne in unserem Bewußtsein Sinnesqualitäten hervorrufen können. Unsere erkenntnistheoretischen Überlegungen lassen beide Voraussetzungen prinzipiell zulässig erscheinen. Wenn es eine von unserer Wahrnehmung unabhängige Außenwelt gibt, und — in übertragenem Sinne — Bewegungsvorgänge in derselben, so steht im Prinzip nichts der Möglichkeit im Wege, daß viele Bewegungen nicht wahrgenommen werden, weil sie etwa zu schnell oder zu klein sind. Und wenn die Wirkung, insbesondere die mittelbar ausgelöste, der Ursache nicht zu gleichen braucht, so erscheint es prinzipiell durchaus möglich, daß Bewegungsvorgänge Sinnesqualitäten wie die des Schalles oder der Wärme hervorrufen.

Die Erfahrung aber zeigt, daß beide Voraussetzungen der Wirklichkeit entsprechen. Daß es Bewegungen gibt, die wir nicht als solche wahrnehmen, weil sie etwa zu klein oder zu schnell sind, wird durch eine Fülle von Erfahrungen dargetan. Wir sind z. B. oft in der Lage, unwahrnehmbare kleine Bewegungen durch Vergrößerung sichtbar zu machen. Es kann sich dabei um bewegte Teilchen handeln, die selbst samt ihrer Bewegung erst im Mikroskop oder Ultramikroskop sichtbar werden. Auch unwahrnehmbar schnelle Bewegungen, z. B. schnelle Schwingungen eines an einem Ende befestigten elastischen Stabes, kann man sichtbar machen, etwa indem man sie mit wiederholten kurzen Lichtblitzen (elektrischen Funken) beleuchtet; dabei wird der Stab immer nur für Momente sichtbar, und man erkennt, daß er von Lichtblitz zu Lichtblitz seine Lage wechselt.

Daß solche Bewegungsvorgänge in uns Sinnesqualitäten hervorrufen können, daß also auch die zweite der obigen Voraussetzungen erfüllt ist, ergibt sich daraus, daß ein Stab, den wir in Schwingungsbewegung versetzen, unter geeigneten Umständen in uns eine Tonempfindung hervorruft. Der ruhende Stab tönt nicht, der in geeigneter Weise schwingende tönt, d. h. es tritt mit der Schwingungsbewegung eine neue Qualität auf, von der am ruhenden Stab nichts zu bemerken ist, die aber auch von der Schwingungsbewegung völlig verschieden ist, der man an sich durchaus nicht anmerken kann, daß sie von einem Bewegungsvorgang herrührt. Und doch ist an der Tatsächlichkeit dieses Zusammenhanges zwischen dem Ton (der erlebten Sinnesqualität) und dem Bewegungsvorgang nicht zu zweifeln. Ein tönender Körper ist ein bewegter Körper, der in der Sekunde etwa 16 bis 34000 (oder 40000) Schwingungen ausführt. Die Sinnesqualität des Tones tritt erst mit oder genauer etwas nach der Schwingungsbewegung auf, und die Beendigung der Schwingungen läßt auch den Ton aufhören. Es ergibt sich also, daß der Bewegungsvorgang der Schwingung die Sinnesqualität des Tones hervorruft, und zwar in uns; denn die Schwingung des „tönenden" Körpers muß durch die Luft oder ein anderes Medium bis in unser Ohr fortgepflanzt werden, damit die Sinnesqualität des Tones in unserer Wahrnehmung auftrete; die Tonqualität ist subjektiv, und ihre objektive Grundlage bildet eine Schwingungsbewegung. Die (übrigens longitudinalen) Schwingungswellen der Luft können wahrnehmbar gemacht werden; mit Hilfe des Töplerschen Schlierenapparates kann man sie sichtbar machen. Die Töne, überhaupt die Schallqualitäten, haben also in der körperlichen Außenwelt Schwingungsbewegungen zur Grundlage, und eine Veränderung eines Schalles beruht auf einer Änderung von Bewegungen.

Kinetische Auffassung des Schalles.

Die kinetische Auffassung des Schalles wird uns durch die Beobachtungen geradezu aufgezwungen. Und doch steckt in ihr insofern etwas Hypothetisches, als man nicht bei allen Schallqualitäten sich die Mühe gegeben hat, die zugrunde liegende Schwingungsbewegung wahrnehmbar zu machen. Es gibt eine sehr große Zahl unterscheidbarer Tonempfindungen; keinem Physiker erscheint es notwendig, für jede Tonempfindung, sagen wir für jede Tonhöhe, den Nachweis der zugrunde liegenden Schwingung zu fordern. Es mag sehr viele (besonders höhere) Töne geben, für die ein solcher Nachweis niemals direkt erbracht worden ist. Die kinetische Auffassung dieser, also schließlich aller Töne, ja aller akustischen Erscheinungen überhaupt, ist mithin eigentlich eine Hypothese. Aber auch die prinzipiellen Hypothesengegner lassen sie gelten. Der Analogieschluß, der von den Fällen, in denen die Schwingungen nachgewiesen wurden, zu den anderen Fällen führt, ist gar zu überzeugungskräftig. So spricht man nicht von einer kinetischen Hypothese des Schalles oder der akustischen Vorgänge; man behandelt die kinetische Auffassung hier als bewiesene Wahrheit.

Wenn aber die Lehre vom Schall es sicherstellt, daß Sinnesqualitäten und Veränderungen derselben auf Bewegungsvorgängen beruhen können, so ist damit eine feste Grundlage für weitere Anwendungen der kinetischen Auffassung geschaffen. Wie die Schallqualitäten, so könnten auch die Qualitäten der

Kinetische Wärmetheorie.

Temperaturempfindung, Warm und Kalt, auf Bewegungen beruhen. Damit kommen wir zu der kinetischen (oder, wie man zu sagen pflegt, mechanischen) Theorie der Wärme, die die ältere Blacksche Ansicht von der substantiellen, stofflichen Natur der Wärme völlig verdrängt hat.

Nach dieser älteren Ansicht beruhen die kalorischen Erscheinungen auf einem unwägbaren Wärmestoff. Aufnahme dieses Wärmestoffes bedeutet Erwärmung, Abgabe bedeutet Abkühlung. Es wurde also nicht die Sinnesqualität des „Warm" selbst, nicht die Wärme selbst, wohl aber die Veränderung des „Warm", sein Übergang in „Kalt", die Zu- und Abnahme der Wärme, kinetisch erklärt, nämlich durch ein Zu- bzw. Abströmen von Wärmestoff. Diese Theorie stieß auf manche Schwierigkeiten. Sie erklärte z. B. nicht, daß man durch anhaltendes Hämmern im Hammer und im Amboß beliebig große Wärmemengen erzeugen kann. Wo sollten diese unbegrenzten Mengen des Wärmestoffes herkommen, die etwa ein dauernd gehämmertes Eisenstück rotglühend werden lassen und erhalten, obwohl es ständig Wärme ausstrahlt und auf die Umgebung überleitet? Der Umgebung kann der Wärmestoff nicht entnommen sein; denn diese wird beim Hämmern nicht kälter, nicht wärmeärmer. Die Sache verhält sich offenbar ganz analog, wie wenn beim Läuten durch andauernd wiederholte Schläge des Klöppels beliebig große Schallmengen erzeugt werden; diese werden auch nicht etwa der Umgebung entnommen, sondern sie entstehen, indem die Glocke durch die Klöppelschläge in schwingende Bewegung gerät. Auch das Eisen (auch der Amboß) gerät durch die Hämmerschläge in zitternde, ev. klingende Bewegung, wie übrigens die Glocke ihrerseits beim Läuten sich erwärmt. Die für die Wärmestofftheorie sehr bedenkliche Schwierigkeit verschwindet, wenn wir annehmen, daß die Wärme, wie der Schall, auf Bewegungen beruht. Zu der gröberen Erschütterung des Ambosses, die wir als solche fühlen oder als Klang hören können, kommen feinere, kommen unwahrnehmbare zitternde Bewegungen seiner unsichtbar kleinen Bausteine, seiner Moleküle (und Atome). Solche molekularen Bewegungen bilden die Grundlage aller Wärmeerscheinungen, rufen in uns die Eindrücke des Warm oder Heiß hervor, wenn sie hinreichend gesteigert sind.

Erklärungsleistungen der kinetischen Wärmetheorie.

So versteht man, warum durch Hämmern — wie übrigens auch durch andere mechanische Einwirkungen, z. B. durch Reibung — Wärme in beliebiger Menge erzeugt werden kann; der Hammerschlag vermag eben die Moleküle immer wieder zu erschüttern. Sofort ergibt sich nun die Erklärung zahlreicher Erscheinungen. Durch die Bewegungen bzw. Zusammenstöße der Moleküle geraten die in ihnen enthaltenen Ladungen in lebhaftere Schwingung; so werden elektromagnetische Strahlen, dunkle Wärmestrahlen und bei stärkerer Erhitzung, beim Glühen, auch Lichtstrahlen ausgesandt. Wir verstehen leichter die Fortleitung der Wärme, die von der auch den leeren Raum durchdringenden Wärmestrahlung wohl zu unterscheiden ist. Die Wärmeleitung beruht nach Drudes freilich nicht zureichender Hypothese auf Elektronenbewegungen und -zusammenstößen, durch die sich die Molekularbewegung allmählich ausbreitet. Die Ausdehnung der Körper durch Erwärmung kommt zustande, indem infolge der stärkeren Bewegung die Moleküle mehr Spielraum für sich beanspruchen.

Um dies noch etwas genauer zu erklären, und um die Verflüssigung und Verdampfung durch Wärme auf Grund der kinetischen Auffassung verstehen zu lernen, fassen wir zunächst die molekularen Verhältnisse bei einem festen Körper ins Auge. Das Volumen eines festen Körpers kann durch Druck und Abkühlung verringert werden; dies weist darauf hin, daß die Moleküle einen gewissen Spielraum haben. Sie werden aber trotzdem in einer bestimmten Lage festgehalten; denn wenn man versucht, ein Stück eines festen Körpers von diesem zu trennen oder ihn zu deformieren, wenn man also einen Teil seiner Moleküle aus ihrer Lage zu entfernen sucht, so stößt man auf Widerstand. Wenn man einen festen Körper gegen diesen Widerstand durch Zug oder Druck ein wenig deformiert, dehnt oder komprimiert, so kehren seine Teilchen nach dem Aufhören der äußeren Einwirkung in die alte Lage zurück. Wir sprechen darum von Form- und Volumelastizität der festen Körper. Ihre Teilchen werden durch Kräfte, die sie gegenseitig aufeinander ausüben (durch „Molekularkräfte", die nach der elektrischen Theorie der Materie schließlich auf die Felder der elektrischen Urpartikelchen zurückzuführen wären), in einer Gleichgewichtslage gehalten. Aus dieser mögen sie durch äußere Einwirkungen ein wenig entfernt werden. Sie werden nach dem Aufhören der letzteren durch die Molekularkräfte in die Ruhelage zurückgezogen. Sie werden jedoch über diese Lage hinaus schwingen, wie ein Pendel, das man aus der Ruhelage entfernt hat und dann durch Loslassen in diese zurückkehren läßt, über sie hinauseilt und um sie oszilliert. So werden die Moleküle eines festen Körpers, wenn sie irgendwie angestoßen, erschüttert werden, um ihre durch die Molekularkräfte bedingte feste Ruhelage schwingen. In solchen Schwingungen besteht die Wärme der festen Körper.

Bringen wir die Moleküle eines festen Körpers durch Kompression desselben einander gewaltsam näher, so widerstreben die Molekularkräfte unserem Tun; die Moleküle drängen auseinander, stoßen sich ab, wenn sie gewaltsam näher zusammengebracht werden. Wenn nun bei Erwärmung die Moleküle lebhaftere und weitere Schwingungen ausführen, so geraten sie dabei auch näher aneinander. Sie werden also stärker auseinander drängen. So dehnt sich der erwärmte Körper aus.

Wird die Erwärmung stärker, die Schwingung der Moleküle wilder, so geraten sie schließlich aus ihren festen Gleichgewichtslagen heraus. Diese gehen verloren; der feste Verband der Moleküle, der feste Aggregatzustand unseres Körpers wird aufgehoben; der Körper schmilzt, wird flüssig. In der Flüssigkeit sind die Molekularkräfte auch noch wirksam; sie halten z. B. die Moleküle in einem Tropfen zusammen, aber sie genügen nicht mehr, denselben feste Lagen vorzuschreiben. Die Moleküle schieben sich durcheinander. So geht den Flüssigkeiten die feste Gestalt (und die Formelastizität) verloren, die den festen Körpern zukommt, weil ihre Moleküle in feste Lagen gebannt sind (um die sie freilich kleine Schwingungsbewegungen ausführen können).

Wenn an der Oberfläche eines Körpers ein Molekül in besonders starken Schwung gerät, so kann es sich aus dem Molekülverband losreißen; es eilt dann von dem Körper weg in den Raum hinaus. Dies wird um so öfter und leichter vorkommen, je stärker durchschnittlich die Moleküle des Körpers sich bewegen,

Kinetische Wärmetheorie und kinetische Gastheorie.

d. h. je wärmer er ist. So erklärt sich die Sublimation der festen, die Verdunstung und Verdampfung der flüssigen Körper. Die sich aus dem Molekülverband des festen oder flüssigen Körpers losreißenden Moleküle, die dann in gerader Linie in den Raum hinausfliegen, bis sie auf ein anderes Molekül treffen, bilden eben in ihrer Gesamtheit einen Dampf oder ein Gas. Das ergibt sich aus der bereits oben begründeten kinetischen Theorie der Gase, nach welcher dieselben Schwärme von Molekülen darstellen, die auf geradlinigen Bahnen durcheinandereilen.

Indem bei einem eingeschlossenen Gase fortwährend eine Unzahl von Molekülen gegen die Wände des einschließenden Gefäßes anprallt, entsteht der Anschein eines gleichmäßigen Druckes des Gases auf diese Wände. Der Druck, den eine bestimmte Gasmenge, d. h. eine bestimmte Zahl der betreffenden Moleküle, auf die Wände eines Gefäßes ausübt, muß von der Bewegungsgeschwindigkeit der Moleküle abhängen; denn je schneller die Moleküle durchschnittlich dahineilen, um so öfter treffen sie auf die Gefäßwand, und um so heftiger wird der Anprall. Nun wächst der von einem Gase ausgeübte Druck unter sonst gleichen Umständen mit der Temperatur des Gases. Dies führt zu der Auffassung hin, daß Erwärmung eines Gases Steigerung der Molekularbewegung bedeutet. Die kinetische Theorie der Wärme erklärt den Zusammenhang von Temperatur und Druck bei Gasen auch quantitativ.

Das Bewegungsgewirr der Moleküle bleibt unseren Blicken verborgen. Aber es verrät sich, wenn wir winzige, jedoch noch mikroskopisch oder ultramikroskopisch sichtbare Körperchen in einer Flüssigkeit oder einem Gase beobachten. Ein größeres Teilchen bleibt in Ruhe, weil die Molekularstöße, die es von allen Seiten treffen, sich in ihren Wirkungen aufheben. Ein hinreichend kleines Teilchen wird relativ seltener von den tanzenden Molekülen angestoßen; die Stöße paralysieren sich nicht, sondern treiben das Teilchen bald hierhin, bald dorthin, so daß wir es in unregelmäßiger Zickzackbewegung erblicken. Das ist die bereits besprochene Brownsche Molekularbewegung. Sie verrät, daß in einer als Ganzes ruhenden Flüssigkeits- oder Gasmenge doch lebhafte Bewegung herrscht. Die Brownsche Bewegung steigert sich nun bei Erhöhung der Temperatur, ganz wie es sein muß, wenn Wärme Bewegung der Moleküle bedeutet. Hierin liegt eine offenbare Bestätigung der kinetischen Wärmetheorie. Die Brownsche Bewegung kann der Bewegung von Staubteilchen und anderen leichten Partikelchen zur Seite gestellt werden, durch die man Schallschwingungen nachweisen und genauer verfolgen kann.

Die Beeinflussung chemischer Umsetzungen durch Erwärmung wird durch die kinetische Auffassung verständlich. Die lebhaftere Bewegung, die Erschütterung der Moleküle erleichtert eine Umlagerung der in ihnen enthaltenen Atome, eine Zerstörung der ganzen Moleküle.

Die kinetische Auffassung der Lichtaussendung ist gut begründet, die der Vorgänge im Lichtstrahl weniger gut.

Wie die Wärmestrahlung so geht auch das Licht von schwingenden bzw. kreisenden Teilchen aus; das Leuchten beruht auf Bewegungen der Elektronen des lichtaussendenden Körpers. Insofern ist auch hier die kinetische Auffassung wohl begründet; wir haben uns bereits mit der Theorie der Lichtaussendung, insbesondere mit dem für diese überaus bedeutsamen Zeemanschen Phänomen,

beschäftigt und brauchen hier darauf nicht zurückzukommen. Auch bezüglich der weiteren Frage, ob das Geschehen im Lichtstrahl (bzw. im elektrisch-magnetischen Wellenstrahl, im dunklen Wärmestrahl, im ultravioletten Strahl) kinetisch zu interpretieren sei, ist auf frühere Darlegungen zurückzuverweisen. Was sich in diesen Strahlen fortpflanzt, sind elektrische und magnetische Felder. Nimmt man einen Äther an, so pflanzen sich im Lichtstrahl Äthermodifikationen fort, und es bleibt fraglich, ob diese Ätherveränderungen auf Bewegungen zurückführbar sind. Hier erscheint also die kinetische Auffassung nicht gesichert. Sie liegt sehr nahe, wenn wir die Feldstofftheorie und damit die dieser entsprechende Emissionstheorie des Lichtes annehmen. Der Lichtstrahl besteht dann aus einem äußerst schnellen Strom von Feldsubstanz, die von und vielleicht aus dem schwingenden Elektron herkommt. Betrachten wir die Felder als nur fiktive Gebilde im Sinne einer modernisierten Fernwirkungstheorie des Lichtes und der Elektrizität, so ergibt sich die kinetische Auffassung ohne weiteres. Denn die Lichtaussendung beruht auf Schwingungsbewegungen; die Lichtwirkungen in gewöhnlichen Körpern, z. B. die chemischen oder die Wärmewirkungen, sind ebenfalls als Bewegungsvorgänge zu deuten, und die Vorgänge im Vakuum, bezüglich deren die völlige Durchführbarkeit der kinetischen Auffassung bezweifelt werden kann, kommen zum Fortfall.

Mit der Frage, ob und inwieweit die kinetische Auffassung in der Lehre vom Licht durchführbar sei, sind wir schon in das Gebiet der elektrisch-magnetischen Erscheinungen gelangt; denn diesen sind die optischen Phänomene zuzuzählen, nachdem durch Hertz und seine Nachfolger die Wesensgleichheit des Lichtes und der von schwingender Elektrizität ausgehenden Strahlung bewiesen worden ist. Wir fragen also nunmehr nach der Bedeutung der kinetischen Auffassung für die Elektrizitätslehre. Die magnetischen Erscheinungen können dieser physikalischen Teildisziplin zugerechnet werden.

Wir betrachten zunächst die elektrostatischen Erscheinungen, deren Behandlung den ersten Teil der Elektrizitätslehre zu bilden pflegt. Sie werden durch ruhende elektrische Ladungen hervorgebracht, die z. B. aus einer (auf einem Körper befindlichen) Ansammlung negativer Elektronen bestehen können. Sie führen also auf ruhende elektrische Partikelchen und ihre Felder zurück. Von der Auffassung der Felder war eben noch die Rede. Die elektrischen Ladungen selbst, bzw. ihre Baueinheiten, diese Kerne der Felder, kinetisch zu deuten, also die Elektrizität selbst als einen Bewegungszustand oder -vorgang aufzufassen, der einer an sich nicht elektrischen Substanz unter Umständen zukäme, wird man gegenwärtig wenig geneigt sein. In früherer Zeit lag eine solche Deutung näher; die Elektrizität erschien als ein besonderer Zustand, in den die gewöhnliche Substanz unter gewissen Umständen gerät, etwa so wie sie unter anderen Umständen in den Zustand des Tönens, der Hitze, des Leuchtens gerät, und die Vermutung lag nahe, daß auch der elektrische Zustand ein Bewegungszustand sei, zumal er durch Bewegung, z. B. durch Reiben, hervorgebracht werden kann. Inzwischen aber hat sich die wissenschaftliche Sachlage sehr geändert; Zustände, wie der des Leuchtens, sind nicht dem Elektrisch-

Eine kinetische Auffassung der elektrischen Ladung erscheint wenig wahrscheinlich. Substanz-, nicht Zustandstheorie der Elektrizität.

Geladensein, sondern der schwingenden Bewegung elektrischer Ladungen zur Seite zu stellen; und die Ladung selbst erscheint nicht als Zustand, der von einer Substanz getragen werden müßte, sondern als etwas Substantielles, selbständiger Existenz Fähiges, wie z. B. die freien Elektronen im Kathodenstrahl darzutun scheinen. Ja die Elektrizität erscheint vielleicht als die eigentliche Grundsubstanz der gewöhnlichen Materie.

Wenn man allerdings einen Äther anerkennt und das elektrische Feld als Ätherzustand betrachtet, so liegt es nicht fern, auch im zentralen Kern dieses Feldes, im elektrischen Ladungspartikelchen, lediglich ein modifiziertes Ätherteilchen zu erblicken. Die Elektrizität selbst gilt dann als eine Äthermodifikation, ein Ätherzustand, und man könnte die Möglichkeit ins Auge fassen, daß dieser Ätherzustand einen Bewegungszustand darstellt, ebenso wie dies bei dem zu dem Kern gehörigen, denselben in den Raum hinein fortsetzenden Feldzustand des Äthers vermutet werden kann. Andererseits bliebe die Möglichkeit, daß jener Zustand des Äthers, der das elektrische Partikelchen bildet (sowie der umgebende Feldzustand) nicht als Bewegungszustand, sondern etwa als qualitative Modifikation zu betrachten ist. Lehnt man den Äther (oder einen substantiellen Raum) ab, so wird man die Ladungspartikelchen als Substanzen ansehen; die Elektronentheorie und die elektrische Hypothese der Materie neigen sicherlich zu letzterer Ansicht hin.

Eine kinetische Theorie der elektrischen Ladung stände demnach zurzeit auf schwachen Füßen. Die Elektrizität scheint nicht ein Bewegungszustand an einer Substanz zu sein, wie das von der Wärme anzunehmen ist; sie scheint selbst Substanz zu sein, wie das in der Blackschen Hypothese von der Wärme angenommen wurde.

Damit wird jedoch die kinetische Naturauffassung nicht hinfällig. Sie fordert nur, daß alles Geschehen in der Natur Bewegungsgeschehen sei; dies Geschehen setzt ein Etwas voraus, das sich bewegt, und dies Etwas kann sehr wohl substantielle Elektrizität sein. Wir hätten also zu fragen, ob die verschiedenen Arten des elektrischen Geschehens, ob die elektrischen Vorgänge als Bewegungen aufgefaßt werden können, obgleich die Elektrizität selbst wohl nicht als Bewegungszustand aufzufassen ist. Die kinetische Auffassung der elektrischen Vorgänge scheint nun in der Tat überall durchführbar, wenigstens, wenn man das Geschehen im Vakuum, die Feldvorgänge, die ja neben der kinetischen Deutung auch andere Interpretationen zulassen, außer Betracht läßt.

Kinetische Auffassung der elektrischen Vorgänge.

So beruht das Zustandekommen der größeren elektrischen Ladungen auf Bewegungen elektrischer Partikelchen; wenn solche Bewegungen an gewissen Stellen eine Anhäufung oder einen Mangel gleichnamiger Partikelchen verursachen, so erscheinen diese Stellen elektrisch geladen. Die Influenz oder elektrostatische Induktion entsteht, indem in einem elektrisch neutralen Leiter unter dem Einfluß einer in der Nähe befindlichen Ladung eine Bewegung elektrischer Partikelchen auftritt, die an gewissen Stellen Anhäufung bzw. Mangel gleichnamiger Teilchen zur Folge hat.

Der elektrische Strom stellt eine Bewegung elektrischer Partikelchen dar.

Dabei kann es sich um Elektronen handeln oder um Ionen, deren Bewegung z. B. den Strom in einem Elektrolyten (etwa in Kochsalzlösung) ausmacht. Die Bewegung der elektrischen Partikelchen wird natürlich einen bewegenden Einfluß auf die Moleküle und Atome des stromdurchflossenen Leiters ausüben; so erklärt sich die Erwärmung des Leiters durch den elektrischen Strom, die die Fäden unserer Glühlampen zum Leuchten bringt. Alle Wirkungen des elektrischen Stromes sind Effekte der Bewegung elektrischer Teilchen. Sehr bedeutsam sind die Wirkungen, die bewegte Ladungen auf andere Ladungen ausüben. Auf ihnen beruhen die Wechselwirkungen zwischen konstanten Strömen, die sogenannten elektrodynamischen Wirkungen, weiterhin aber auch die Induktionserscheinungen, die von Veränderungen in der Strömung elektrischer Partikelchen hervorgerufen werden.

Kinetisch-elektrische Auffassung des Magnetismus.

Auch die magnetischen Erscheinungen können auf Bewegungen elektrischer Partikelchen zurückgeführt werden. Jeder elektrische Strom kann magnetische Wirkungen ausüben. Ein im Kreise fließender Strom wirkt wie ein Magnet. Man kann sich daher die magnetischen Wirkungen eines Stahlstabes erklären, indem man annimmt, daß die kleinen Teilchen seiner Mikrostruktur von elektrischen Strömen umkreist werden. Und diese kleinen Kreisströme wären weiterhin als Kreisbewegungen von Elektronen zu deuten. So hätten wir eine kinetisch-elektrische Theorie des Magnetismus. Der Magnetismus wäre nichts Substantielles, wie die Elektrizität, sondern er beruhte auf Bewegung der substantiellen Elektrizität, wie auch Schall und Wärme auf Bewegungen beruhen. Ist der Magnetismus selbst (im Gegensatz zur Elektrizität) kinetisch zu deuten, so gilt ein gleiches auch für magnetische V o r g ä n g e.

Es fragt sich nun, ob die kinetische Auffassung auch auf das magnetische Feld anwendbar ist. Wenn der Magnetismus auf die Bewegung elektrischer Teilchen zurückgeführt wird, so mag man geneigt sein, auch das magnetische Feld kinetisch aufzufassen und an Bewegungsvorgänge (vielleicht Rotationen) im Äther oder auch im elektrischen Feldstoff zu denken. Doch handelt es sich lediglich um Vermutungen. Betrachtet man das Feld lediglich als Fiktion, so kommen solche Fragen zum Fortfall.

Kinetische Auffassung der chemischen Vorgänge.

Wir wenden uns zum Schluß noch den chemischen Vorgängen zu, um unsere Übersicht über die einzelnen Arten des Geschehens in der toten Natur zu vervollständigen. Da ergibt sich aus unserer Darstellung der chemischen Molekular- und Atomtheorie ohne weiteres, daß die chemischen Vorgänge kinetisch aufzufassen sind, Bewegungen, nämlich Atomumlagerungen, darstellen. Wenn z. B. aus einem Chlor- und einem Wasserstoffmolekül zwei Chlorwasserstoff- (= Salzsäuregas-) Moleküle entstehen, so handelt es sich um eine Trennung der beiden im Chlormolekül vereinten Chloratome sowie um eine Trennung der beiden im Wasserstoffmolekül vereinten Wasserstoffatome und um ein Zusammentreten je eines Chloratoms mit einem Wasserstoffatom.

Wenn wir zugleich die kinetische Theorie der Wärme und diejenige der chemischen Vorgänge ins Auge fassen, so begreifen wir die chemischen Wirkungen der Wärme wie die Wärmewirkungen chemischer Vorgänge. Die Be-

wegung in der Mikrostruktur der Körper, welche die Wärme darstellt, kann das Gefüge der Moleküle lockern und so Umlagerungen der Atome herbeiführen oder erleichtern. Atomumlagerungen, chemische Umwandlungen werden den ganzen Bewegungszustand in der Molekularwelt beeinflussen und so Wärmewirkungen mit sich bringen. —

Ergebnis. Berechtigung und eventuelle Grenzen der kinetischen Naturauffassung.

Wir haben die verschiedenen Arten des Geschehens in der toten Natur einzeln betrachtet. Freilich konnten wir dabei nicht alle besonderen Unterarten akustischer, kalorischer, optischer, elektrischer, magnetischer und chemischer Vorgänge prüfen. Doch mag unser Überblick genügen, um darzutun, wie die kinetische Auffassung auf allen diesen Gebieten zur Geltung kommt. Es scheint, daß wir alles Geschehen in der toten Natur, soweit es sich an gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen abspielt, als Bewegungsgeschehen betrachten dürfen. Was die Vorgänge im Vakuum anbelangt, so wird die kinetische Interpretation derselben zwar auch durch manche Umstände nahegelegt; sie ist jedoch noch nicht durchgeführt und genügend begründet. Die Vorgänge in der lebenden Natur lassen wir vorläufig beiseite.

Elimination von Qualitäten durch kinetische Theorien.

Elimination von Qualitäten aus dem Naturbild durch kinetische und Struktur-Theorien. Die kinetischen Theorien führen nicht nur offenbare Vorgänge, die sich ohne weiteres als solche unseren Sinnen darbieten, ohne dabei sogleich ihre Bewegungsnatur zu verraten, auf Bewegungen zurück. Sie gehen vielfach weiter; manches, das unseren Sinnen, überhaupt unserer Beobachtung, zunächst als eine Eigenschaft oder ein Zustand erscheint, der kein Geschehen, keine Veränderung einschließt, wird als Bewegungsvorgang aufgefaßt. Nicht nur der Vorgang der Erwärmung wird als Bewegungsvorgang betrachtet, sondern auch die dauernde, scheinbar kein Geschehen, keine Veränderung einschließende Eigenschaft (der Zustand) des Warmseins. So treten an Stelle der Sinnesqualitäten des Schalles, der Wärme und Kälte im Außenweltsbilde der Naturwissenschaft Bewegungsvorgänge. Auch die Eigenschaft oder der Zustand des Leuchtens wird auf Bewegungen, auf Schwingungen elektrischer Partikelchen zurückgeführt. Der Magnetismus eines Stahlmagneten, der unserer Beobachtung zunächst als eine dauernde Eigenschaft erscheint, derjenige eines Elektromagneten, der uns als ein bei konstantem elektrischen Strom unverändert beharrender Zustand entgegentritt, werden auf Bewegungsvorgänge, auf Elektronenbewegungen zurückgeführt. So treten an Stelle der Qualitäten des Schalles, der Wärme und Kälte, des Magnetismus im Naturbilde der Wissenschaft Bewegungsvorgänge. Wir können von einer Elimination von Qualitäten aus dem Naturbilde reden, die durch kinetische Theorien bewirkt wird.

Freilich, die Sinnesqualitäten, wie Rot und Grün, Warm und Kalt usw., werden allesamt mit einem Schlage aus dem Bilde der Außenwelt entfernt durch die erkenntnistheoretische Lehre von der Subjektivität der Sinnesempfindungen. Diese Lehre braucht jedoch nicht notwendig die Außenwelt besonderer Qualitäten zu berauben, die hinter den Sinnesqualitäten als deren Außenweltsursachen sich verbergen könnten. Der subjektiven Sinnesqualität „Warm" könnte eine

objektive Qualität in der Außenwelt, ein „Warm-an-sich" entsprechen, das von jener Sinnesqualität so verschieden sein könnte wie das Süß vom Warm, mit ihr aber insofern übereinstimmen könnte, als das Warm-an-sich auch eine einfache, keine Veränderung einschließende Qualität darstellen könnte. Wenn also die Erkenntnistheorie die Außenwelt der Sinnesqualitäten beraubt, so könnte doch an Stelle der letzteren ein Ersatz von anderen Qualitäten treten; der Ersatz von Qualitäten durch Bewegungsvorgänge, wie ihn kinetische Theorien vornehmen, ist keine erkenntnistheoretische Notwendigkeit.

Die kinetische Auffassung des Schalles substituiert den Schall-Qualitäten, die der Wärme denjenigen der Temperaturempfindung Bewegungsvorgänge. Die Lichttheorie führt die Farbqualitäten der Lichtquellen auf die Bewegungsverhältnisse in den leuchtenden Atomen zurück. Auch den Farben, welche nichtselbstleuchtende Körper im auffallenden und durchfallenden Lichte zeigen, entsprechen in der Außenwelt nicht etwa einfache Qualitäten; doch wollen wir darauf der Kürze halber nicht eingehen. Qualitäten wie Hart und Weich beruhen darauf, daß die Moleküle bei manchen Körpern schwerer, bei anderen leichter relativ zueinander beweglich sind. Wenn wir so die Qualitäten verschiedener Sinne durchgehen, so ergibt sich, daß sie nicht nur nicht ohne weiteres auf die Außenwelt übertragen werden dürfen, daß ihnen in der Außenwelt überhaupt nicht einfache Qualitäten entsprechen, sondern etwa Bewegungen oder Beweglichkeitsverhältnisse.

Wie aber steht es mit den Qualitäten des Geruchsinnes und des Geschmacksinnes? Man bezeichnet Geruch und Geschmack als chemische Sinne. Bei der Reizung derselben handelt es sich um chemische Einwirkungen, und die Empfindungen dieser Sinne entsprechen der chemischen Natur der Stoffe. Die verschiedenen Gerüche und Geschmäcke gehören zu den Eigenschaften, die als Unterscheidungsmerkmale der so überaus zahlreichen chemischen Stoffe dienen. Nun werden manche derartige Eigenschaften, wie Hart oder Weich, auf Strukturverhältnisse, auf die Beweglichkeit der Bausteine der Molekularstruktur zurückgeführt. Da erhebt sich die Frage, ob denn überhaupt die Unterschiede zwischen verschiedenen chemischen Stoffen einfach als qualitative aufzufassen sind, vergleichbar etwa dem Unterschied von Gelb und Süß. Die chemische Molekular- und Atomtheorie ergibt, daß so die Verhältnisse nicht liegen. Sauerstoff und Ozon z. B. sind chemisch verschieden, was schon der Geruchssinn verrät (Sauerstoff ist geruchlos, Ozon nicht); aber der Unterschied zwischen den beiden Stoffen ist in der Außenwelt kein qualitativer, sondern ein Strukturunterschied. Sauerstoff und Ozon sind aus denselben Atomen aufgebaut, nur daß diese im Sauerstoff zu je zweien, im Ozon zu je dreien zu Molekülen vereint sind. In ähnlicher Weise führt die Chemie eine Fülle von scheinbaren Qualitäten auf Strukturverhältnisse zurück. Denn die fast zahllosen verschiedenen Stoffe — man denke nur an die gewaltige Zahl der chemisch einheitlichen Stoffe, vor allem der Verbindungen —, die sich alle zunächst qualitativ zu unterscheiden scheinen, werden vom Chemiker auf die 118 verschiedenen Atome der chemischen Elemente zurückgeführt (es sind zurzeit vielleicht 83 inaktive und etwa 35 aktive

Elimination von Qualitäten durch die Mikrostrukturlehren, zunächst durch Molekular- und Atomtheorie.

Elemente bekannt). Aus der verschiedenen Kombination dieser Atome entstehen die fast zahllosen verschiedenen Stoffe. Allein aus Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen baut sich eine große Zahl verschiedener Kohlenwasserstoffe auf, die sich zunächst qualitativ zu unterscheiden scheinen. Durch die Strukturtheorie, die chemische Molekular- und Atomtheorie, wird also der scheinbare Qualitätenreichtum der Welt sehr stark reduziert. Kinetische und Struktur-Theorien wirken zusammen bei der Elimination von Qualitäten aus dem Naturbilde.

Immerhin ließ die Chemie noch eine ganze Anzahl verschiedener Atome bestehen. Die Annahme blieb möglich, daß diese sich qualitativ unterscheiden, daß etwa das Atom jedes Elementes durch eine oder mehrere besondere Qualitäten ausgezeichnet sei. Nachdem aber die Reduktion der Qualitäten auf Strukturverhältnisse so weit fortgeschritten war, lag es nahe, noch weiter zu gehen, zu versuchen, ob die Unterschiede zwischen den Atomen nicht als Strukturunterschiede betrachtet werden können. Wir haben gesehen, welche Fortschritte in dieser Richtung gemacht worden sind. Wenn man auch nicht dazu gelangt ist, alle Atome als Verbände von Uratomen einer einzigen Art aufzufassen, so darf doch heute auf Grund des periodischen Systems, der spektroskopischen Ergebnisse, des Zeeman-Phänomens, überhaupt der Elektronenforschung und der Radioaktivität die Ansicht als wohlbegründet gelten, daß die Atome eine feinere Struktur besitzen und gemeinsame Bausteine, vor allem negative Elektronen, enthalten. Bezüglich des positiven Atomkernes liegt ja die Frage noch recht schwierig. Immerhin scheinen die radioaktiven Umwandlungen zu zeigen, daß alle Bestandteile eines Atoms, welches von einem anderen total verschieden ist, doch in diesem enthalten sein können; denn Heliumatome gehen aus Atomen radioaktiver Stoffe hervor, die vom Helium ganz und gar verschieden sind. Die Beziehungen zwischen den Atomen der verschiedenen Elemente drängen aber immer wieder die Vermutung auf, daß alle Atome schließlich aus demselben Material aufgebaut sind, und daß verschiedene Atome sich demnach durch ihre Struktur, nicht aber durch Qualitäten unterscheiden. Wenn die Hypothese von dem einen Uratom nicht durchführbar ist, weil den negativen Elektronen im Atom positive Ladungen gegenüberstehen müssen, so bleibt doch die Möglichkeit, daß alle gewöhnlichen Atome aus zwei Arten von Urpartikelchen, von Ursubstanzen, aus negativ und positiv elektrischen, aufgebaut sind. Dabei kann man noch unentschieden lassen, ob die positiven Teilchen als bloße Elektrizitätsteilchen aufzufassen sind, wie es bei den negativen Elektronen wohl angängig erscheint, oder ob sie mehr den Charakter gewöhnlicher Materie tragen.

Elimination von Qualitäten durch moderne Hypothesen über die Struktur der Atome.

Damit wäre wiederum ein bedeutsamer Fortschritt in der Elimination der Qualitäten aus dem Naturbilde erzielt. Statt 83 oder 118 vielleicht qualitativ verschiedener Urbausteine hätten wir nur zweierlei Urpartikelchen, nämlich positive und negative. Vielleicht wären nur zwei gegensätzliche Grundqualitäten in der Welt der gewöhnlichen Materie anzunehmen: die der positiven und die der negativen Elektrizität. Alle anderen vermeintlichen Qualitäten wären auf Struktur- und Bewegungsverhältnisse zurückzuführen.

Man wird nun fragen, ob nicht auch dieser letzte Unterschied, die Verschiedenheit zwischen positiven und negativen Urpartikelchen, vielleicht auf Struktur- und Bewegungsunterschiede zurückführbar sei. Darüber wissen wir nichts. Wenn aber die elektrischen Partikelchen als lokale Modifikationen des Äthers aufgefaßt werden, so liegt der Gedanke nicht fern, daß diese Modifikationen Veränderungen der normalen Struktur oder auch der normalen inneren Bewegung des Äthers darstellen. Faßt man dann auch die elektrischen und magnetischen Feldzustände als Struktur- oder Bewegungsmodifikationen im Äther auf, so behält man nur eine Grundsubstanz, den Äther; und es existieren nur Struktur- und Bewegungsunterschiede in ihm. Alle qualitativen Unterschiede sind dann aus dem Naturbilde beseitigt.

Andererseits ist es auch denkbar, daß alle oder doch manche Äthermodifikationen (elektrische Partikelchen, elektrische und magnetische Feldzustände) qualitativer Natur sind.

Jedenfalls muß man bei der Frage, inwieweit die Qualitäten aus dem Naturbilde zu beseitigen sind, auch die elektrischen und magnetischen Felder berücksichtigen. Nimmt man die Feldstofftheorie an, so wäre zu fragen, ob der Stoff des elektrischen Feldes sich qualitativ von der Substanz des elektrischen Partikelchens unterscheidet, das seinen Kern bildet. Man wird dies vielleicht wenig wahrscheinlich finden, wenn man bedenkt, daß ein schwingendes elektrisches Partikelchen Feldstoff aussendet. Kommt letzterem eine Masse zu, und verliert das ihn ausstrahlende Teilchen an Masse, so wird man zu der Auffassung geleitet, daß Feldstoff und Partikelchensubstanz wohl gleichartig sind. Man könnte sich beide aus gleichen Urquanten aufgebaut denken. In den positiven Teilchen könnten vielleicht diese Urquanten umgekehrt orientiert sein wie in den negativen, wie sie ja auch in entgegengesetzt gerichteten elektrischen Feldkraftlinien entgegengesetzt orientiert sein müßten. Damit dies möglich wäre, müßten diese Urquanten zwei verschiedene Enden oder Pole besitzen; wir kämen also auf eine Art von Dipolatomen zurück. Die beiden Pole brauchten aber nicht gerade qualitativ verschieden zu sein.

Das sind nur vage Möglichkeiten, und wir werden bei ihnen nicht länger verweilen. Die kinetischen und Strukturhypothesen bringen eine sehr weitgehende Elimination von Qualitäten aus dem Naturbilde mit sich. Wie weit diese Elimination schließlich gehen wird, wissen wir nicht. Vielleicht bleibt nur ein qualitativer Unterschied, der zwischen positiver und negativer Elektrizität, bestehen. Vielleicht ist selbst dieser noch aufzugeben, so daß es im Bilde der unbelebten Natur etwa nur Unterschiede der Struktur und der Bewegung gäbe. Jede Struktur und jede Bewegung aber müssen Struktur und Bewegung eines Etwas sein, einer Substanz, die sie besitzt und trägt. Diese Substanz mag aus Uratomen bestehen. Als ein Reales muß dieselbe aber zum mindesten eine Qualität haben. Denn eine Substanz, die überhaupt nicht so oder so wäre, keinerlei So-Sein, keine Qualität besäße, wäre eben ein Nichts; wo sie wäre, wäre etwa Raum und nichts anderes. Die Körper aber sind Realitäten im Raume, und das muß auch von ihren letzten Bausteinen gelten.

Vielleicht bleibt im Naturbild nur ein qualitativer Unterschied, nämlich der zwischen positiver und negativer Elektrizität. Jedenfalls muß die Substanz der körperlichen Welt mindestens eine Qualität haben.

Man mag sagen, die Naturwissenschaft, insbesondere die kinetischen und Struktur-Hypothesen zeigten eine fortschreitende Tendenz zur Elimination von Qualitäten aus dem Bilde der unbelebten Natur; man mag vermuten, daß alle qualitativen Unterschiede dereinst aus diesem Bilde ausgemerzt sein werden; eine Qualität, ein So-Sein wird man der Ursubstanz der Natur lassen müssen, wenn diese real sein soll, mag diese Qualität auch gänzlich unbekannt bleiben. Man kann das Naturbild einem Gemälde vergleichen; ursprünglich ist es reich an Farben, aber mit dem Fortschritt der Wissenschaft werden diese Farben des ursprünglichen Naturbildes immer mehr getilgt; schließlich mögen alle Farbunterschiede beseitigt sein, eine Farbe aber — und sei sie auch nur das neutrale Schwarz — muß man dem Bilde lassen, wenn man es nicht vernichten will. So wenig ein Gemälde ohne jegliche Farbe existieren kann, so wenig kann eine reale Natur ohne eine einzige Qualität bestehen.

Allerdings würde diese letzte Qualität im Naturbilde keine weitere Rolle spielen, da wir sie ja nicht kennen; — sonst hätten wir ein absolutes Kennen des Wesens der Außenwelt. Der Metaphysiker könnte vielleicht versuchen, auf dem Wege des vom Innern des Menschen ausgehenden Analogieschlusses dieses Wesen, dieses So-Sein, diese Qualität der Außenweltssubstanz zu bestimmen (etwa als schmerzartigen Willensdrang, wie Schopenhauer, oder in anderer Weise). —

Die kinetischen und Strukturhypothesen schließen die Annahme nicht aus, daß die Außenwelt reich an Qualitäten ist. Die Metaphysik darf also versuchen, eine solche Annahme zu begründen und auszubauen.

Die kinetischen und Strukturhypothesen müssen wenigstens eine Qualität im Naturbilde bestehen lassen; sie könnten aber einen großen Reichtum von Qualitäten in der Außenwelt anerkennen, wenn aus anderen Gründen Anlaß wäre, ihn anzunehmen. Die kinetischen und Strukturhypothesen fordern nur, daß die von ihnen angenommenen Bewegungsvorgänge und Strukturverhältnisse existieren, nicht aber, daß daneben gewisse Qualitäten nicht existieren; sie eliminieren Qualitäten, indem sie dieselben für das Verständnis der Naturerscheinungen entbehrlich machen; die Existenz dieser Qualitäten direkt zu leugnen, sind sie keineswegs genötigt. Betrachten wir z. B. ein Atom, das zu leuchten beginnt; die kinetisch-elektrische Hypothese des Leuchtens besagt, daß die Lichtaussendung auf Schwingungen von Elektronen zurückzuführen ist; ob aber zugleich mit den Schwingungen nicht auch eine gewisse, zur Erklärung der optischen Erscheinungen belanglose Qualität oder qualitative Änderung an dem aufleuchtenden Partikelchen auftritt, davon sagt die physikalische Hypothese nichts. Es mag immerhin der Fall sein; der Physiker hat keinen Anlaß, die Möglichkeit zu leugnen, nur kümmert er sich nicht weiter um dieselbe, weil er sie für die Erklärung der Naturerscheinungen gar nicht braucht. Oder nehmen wir ein Beispiel zur Strukturhypothese! Wenn sich Sauerstoff (etwa infolge elektrischer Entladungen) in Ozon verwandelt, so ist diese scheinbar qualitative Umwandlung nach der Molekular- und Atomtheorie als eine Umordnung der Atome aufzufassen; während letztere im Sauerstoff paarweise zu Molekülen verbunden waren, treten sie bei der Ozonbildung zu je dreien zum Molekül zusammen. Es bleibt aber die Möglichkeit, daß mit dieser Umordnung auch eine qualitative Änderung an den Teilchen eintritt; doch hat der Chemiker keinen

Anlaß, eine solche anzunehmen, weil er dieser Annahme bei der Erklärung der Naturerscheinungen nicht bedarf.

Für den Naturforscher werden so sehr zahlreiche Qualitäten durch die kinetischen und Strukturhypothesen überflüssig. Es könnten aber bei der metaphysischen, die Gesamtwirklichkeit ins Auge fassenden Betrachtung Gründe für die Annahme sich finden, daß die Außenwelt doch reich an Qualitäten ist, die etwa mit Bewegungszuständen und Strukturverhältnissen zusammenhängen und wechseln. Der Naturforscher hätte keinen Grund, solchen Annahmen zu widersprechen. Man kann in der Tat zu ihren Gunsten geltend machen, daß die einzige Wirklichkeit, von der wir ein unmittelbares und absolutes Kennen, nicht nur eine mittelbare und relative Erkenntnis besitzen, nämlich unser eigenes Bewußtseinsleben, eine Fülle von Qualitäten aufweist; alle die zahlreichen Empfindungsqualitäten und die Gefühlsqualitäten gehören zu ihm. Wenn aber dies von der Wirklichkeit gilt, die wir unmittelbar erfassen, dann liegt es doch sehr nahe, den Teil der Wirklichkeit, den wir nur indirekt erkennen, nach Analogie des direkt Erfaßten zu deuten und anzunehmen, daß auch in ihm ein großer Reichtum von Qualitäten vorhanden ist. Auf einem solchen Analogieschluß beruht die spiritualistische Metaphysik, die auch hinter den körperlichen Erscheinungen eine seelisch-geistige Wirklichkeit annimmt. In dieser Wirklichkeit mag es dann eine Fülle von Qualitäten geben, wie in unserer eigenen Seele. Vielleicht kann man (wie Leibniz in seiner Monadenlehre) die letzten Bausteine der Materie als einheitliche seelenartige Wesen betrachten; oder man kann (wie Fechner in seiner „Tagesansicht") annehmen, daß nicht erst in unserer Wahrnehmung der Lichtstrahl leuchtet, der Wärmestrahl wärmt, sondern daß ihnen diese Qualitäten des Leuchtens und Wärmens (bzw. andere Qualitäten) auch in der Außenwelt zukommen, so daß das ganze Naturgeschehen zugleich einen einheitlichen Zusammenhang von Qualitäten repräsentiert, der unserem Bewußtsein verglichen werden kann. Bei einer solchen metaphysischen Ausdeutung des wissenschaftlichen Naturbildes ist wohl zu berücksichtigen, daß vom Ortsunterschied und der Ortsveränderung, der Bewegung, wie wir sie wahrnehmen, der Ortsunterschied-an-sich und die Bewegung-an-sich sehr verschieden sein mögen. Wir ließen dahingestellt, wie der Vorgang-an-sich beschaffen sein mag, der uns als Bewegung erscheint. Daß die kinetischen Hypothesen für die erkenntnistheoretische Betrachtung einen Sinn behalten, auch wenn die Frage offen bleibt, was Bewegung an sich sei, wurde bereits früher dargelegt. —

Spezielle Ausgestaltungen der kinetischen Naturauffassung. Mechanische und kinetisch-elektrische Auffassung. Kehren wir nunmehr zur Betrachtung des Naturbildes zurück, das sich bei völliger Durchführung der kinetischen Naturauffassung ergeben würde. Wir nehmen also an — was noch nicht befriedigend gesichert erscheint — daß alles (nicht-organische) Naturgeschehen auf Bewegung zurückführbar ist, die sich an den größeren und kleineren Bausteinen der Körperwelt abspielt. Diese Grundannahme einer jeden völlig durchgeführten kinetischen Naturauffassung kann nun mit verschiedenen Anschauungen über die Natur des Bewegten und die Art des Zusammenhanges

zwischen verursachenden und verursachten Bewegungen verbunden werden. So ergeben sich mehrere Ausgestaltungen der kinetischen Naturauffassung, die im Laufe der geschichtlichen Entwicklung eine Rolle gespielt haben.

Mechanische Naturauffassung.

Bezüglich der Natur des Bewegten, also der Substanz, die dem Naturgeschehen zugrunde liegt, lag die Annahme am nächsten, daß es sich um Materie von gewöhnlicher Art handele. Die Wissenschaft, die Bewegung und Ruhe der gewöhnlichen körperlichen Dinge behandelt, ist die Mechanik. Wenn alle Naturvorgänge auf Bewegungen der gewöhnlichen Materie zurückführbar sind, so gehören sie also im Grunde allesamt in das Gebiet der Mechanik. Wir dürfen dann die kinetische Auffassung speziell als mechanische Naturanschauung bezeichnen. Diese stellt in der Tat die ältere Form der kinetischen Naturauffassung dar, eine Form, die bereits in der griechischen Atomistik zu typischer Ausprägung gelangt ist. Bis in die jüngste Zeit war die mechanische Naturauffassung die einzige Form der kinetischen. Die Bewegungsvorgänge, auf die alles Naturgeschehen zurückgeführt werden sollte, wurden als mechanische Vorgänge betrachtet, die sich an Substanzen von der Art der gewöhnlichen Materie abspielen. So sollte das Licht auf mechanischen Schwingungen eines elastischen Mediums beruhen, und man bemühte sich, dies Medium, den Äther, nach Analogie der gewöhnlichen Stoffe, etwa der gasförmigen oder der festen, sich vorzustellen. Dabei stieß man nun freilich auf bedenkliche Schwierigkeiten; der Äther wollte sich diesen Anschauungen nicht einfügen. Erst als man die mechanischen Schwingungen aufgab, als man zur elektromagnetischen Lichttheorie überging, kamen jene Schwierigkeiten zum Fortfall. Damit war aber die mechanische Auffassung des gesamten Naturgeschehens durchbrochen. Eine neue Form der kinetischen Naturauffassung, die wir als die kinetisch-elektrische bezeichnen können, hat ihre Erbschaft angetreten.

Doch bevor wir diese ins Auge fassen, wollen wir einen Blick auf die verschiedenen Ausgestaltungen der mechanischen Naturauffassung werfen, die von beträchtlicher geschichtlicher Bedeutung sind. Sie unterscheiden sich durch die verschiedene Auffassung bezüglich der Natur der Kausalzusammenhänge, bezüglich der Übermittlung der Bewegungswirkungen. Am nächsten liegt da die Auffassung, die jede Bewegungsübertragung als ein Schieben bzw. Geschobenwerden von sich berührenden Körpern betrachtet. Diese Form der Bewegungsübertragung ist aus alltäglicher Erfahrung wohlbekannt. Sie erscheint ferner ohne weiteres durchaus verständlich als Konsequenz der Undurchdringlichkeit der (gewöhnlichen) Körper. Der Satz von der Undurchdringlichkeit besagt, daß, wo ein Körper ist, nicht noch ein anderer Körper sein kann. In vielen Fällen wird er durch die Erfahrung sofort bestätigt: Wo Quecksilber ist, kann nicht zugleich Wasser sein. In anderen Fällen freilich scheint die Erfahrung zunächst eine gegenseitige Durchdringung zu zeigen. Wenn wir z. B. in ein Liter Wasser ein Liter Alkohol gießen, erhalten wir weniger als zwei Liter einer Flüssigkeit, die an jeder Stelle die Eigenschaften des Alkohols in abgeschwächter Weise darbietet, so daß dieser das Wasser zu durchdringen scheint. Man rettet den Satz von der Undurchdringlichkeit mit Hilfe der Mikrostrukturlehre, indem

Jede Wirkung ein Schieben eines Körpers durch einen anderen, ihn berührenden Körper.

man annimmt, daß es sich bei der scheinbaren gegenseitigen Durchdringung der Stoffe um eine innige Mischung ihrer Strukturpartikelchen handelt, daß jedoch die Partikelchen sich nicht gegenseitig durchdringen. Wir erwähnten übrigens bereits, daß vielleicht die gewöhnliche Materie für den Äther nicht undurchdringlich ist. Wie dem aber auch sein mag, die Bewegungsübertragung durch Schiebung scheint durch den Satz von der Undurchdringlichkeit sofort verständlich zu werden. Ein Körper kann nach diesem Satz die Stelle eines anderen, auf den er bei seiner Bewegung stößt, nur dann einnehmen, wenn er ihn fortschiebt, ihn also in Bewegung versetzt. Die Bewegungsübertragung durch Schiebung scheint also geradezu mit logischer Notwendigkeit aus der Grundeigenschaft der Undurchdringlichkeit ableitbar zu sein. Freilich ist das nur täuschender Schein; denn es bestände rein logisch noch die Möglichkeit, daß jeder Körper sofort zum Stillstand käme, wenn er auf einen anderen trifft; auch dann wäre der Undurchdringlichkeitssatz befriedigt. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß die Wirklichkeit dieser zweiten logischen Möglichkeit nicht entspricht; so kommt der Schein einer logischen Notwendigkeit und Selbstverständlichkeit der Bewegungsübertragung durch Druck, durch Schiebung zustande. Diese aus der Erfahrung wohlbekannte und scheinbar leicht und völlig verständliche Art der Bewegungsübertragung wird so vor anderen bevorzugt; sie gilt als die einzig mögliche, auf die alle Bewegungsübertragung zurückzuführen sei. Wenn nun alle Naturvorgänge als Bewegungsvorgänge an Körpern gewöhnlicher Art, an undurchdringlichen Körpern, betrachtet werden, so gelten alle Wirkungen, alle Bewegungsübertragungen, als Schiebungen, als Druckwirkungen. Das Naturbild erscheint im Prinzip völlig durchsichtig, das Naturgeschehen durchaus verständlich: Die Körper bewegen sich, der eine trifft auf den anderen und schiebt ihn fort, da er undurchdringlich ist; das ist im Prinzip alles, was in der Natur vorkommen kann.

Das Ideal, alle Naturvorgänge auf Bewegung und Bewegungsübertragung durch Schiebung zurückzuführen, hat eine bedeutsame Rolle in der Naturphilosophie und der Naturwissenschaft gespielt. Allerdings kam dabei doch zur Geltung, daß die alleinige Anerkennung der Schiebung als Form der Bewegungs- Kritik. übertragung zur Erfahrung nicht passen will. Wenn man genauer zusieht, was geschieht, wenn ein Körper bei seiner Bewegung auf einen anderen trifft, so erkennt man alsbald, daß er diesen nicht in allen Fällen einfach vor sich herschiebt. So einfach und gleichartig sind die Wirkungen nicht, die beim Aufstoßen eines Körpers auf einen anderen eintreten. Das einfache Vor-sich-her-Schieben kommt vor, so z. B. wenn mein Fuß einen Stein auf dem Boden verschiebt. In anderen Fällen aber hat das Auftreffen eines bewegten Körpers auf einen anderen, etwa ruhenden, ganz andere Wirkungen. Der getroffene Körper wird nicht einfach fortgeschoben, sondern er bewegt sich nach dem Stoß vielleicht, ohne daß der stoßende Körper ihm folgt; letzterer hat vielleicht den Platz des ersteren gar nicht eingenommen, sondern ist zurückgeprallt oder an der Stelle stehen geblieben, die er einnahm, als er den Stoß erteilte. Das sind Fälle, wie sie bei der Bewegungsübertragung vorkommen, wenn es sich um elastische

23*

Körper, z. B. Billardkugeln, handelt. Beobachtet man die Vorgänge noch genauer, die sich abspielen bei Bewegungsübertragung durch Auftreffen eines Körpers auf einen anderen, so findet man weitere Komplikationen. Die beiden Körper erleiden dabei stets dauernde oder vorübergehende Gestaltsänderungen; sie werden überdies immer erwärmt.

Wenn also ein Körper einen anderen in Bewegung versetzt, indem er gegen ihn stößt, so handelt es sich im allgemeinen nicht um ein einfaches Fortschieben, und der Vorgang ist nicht als selbstverständliche Konsequenz der Undurchdringlichkeit aufzufassen. Indem man nun einsah, daß so einfach die Verhältnisse nicht liegen, konnte man nicht wohl hoffen, daß jede Bewegungsübertragung als Schiebung aufzufassen sei. Man hielt aber daran fest, daß ein Körper eine Bewegungswirkung auf einen anderen nur ausüben könne, indem er ihn berühre, auf ihn auftreffe, ihn drücke oder stoße. So betrachtete man als Ideal der mechanischen Naturauffassung die Zurückführung alles Naturgeschehens auf Bewegung und Bewegungsübertragung durch Druck und Stoß.

Jede Wirkung ein Druck- oder Stoßeffekt.

Dies Ideal hat in der Geschichte des Naturerkennens eine ungemein große Wirkung ausgeübt. Das ist gut zu verstehen. Bewegungsübertragung durch Druck und Stoß ist uns aus der täglichen Erfahrung sehr vertraut und erscheint uns darum als etwas ganz Natürliches und Klares. Andere Wirkungen hingegen, wie die Bewegung, in die ein elektrischer Glasstab ein von ihm ganz getrenntes Papierfetzchen versetzt, erscheinen uns ungewohnt, seltsam, dunkel und erklärungsbedürftig. Da liegt es nahe, zu versuchen, solche Fernwirkungen auf Druck- und Stoßwirkungen zurückzuführen und sie dadurch zu erklären. Das ganze Naturgeschehen erscheint im Prinzip klar und einfach, wenn es auf Bewegung und Bewegungsübertragung durch Druck und Stoß zurückführbar ist.

Einfluß der Himmelsmechanik auf die mechanische Naturanschauung. Verbindung mit der Fernkraftannahme.

Die glänzenden Erfolge der von Newton begründeten Himmelsmechanik konnten dies Ideal einer Naturauffassung, die ausschließlich Druck- und Stoßwirkungen gelten ließ, nur langsam zurückdrängen. Um dasselbe aufrechtzuerhalten, bemühte man sich — vielfach unter dem Eindruck Descartesscher Gedanken —, auch die gegenseitige, über ungeheure Entfernungen hin wirkende Anziehung der Himmelskörper, die allgemeine Massenanziehung oder Gravitation, auf Druck- und Stoßwirkungen zurückzuführen; Lesages von uns bereits skizzierte Gravitationshypothese zeugt von diesen Bestrebungen. Indessen blieben solche Hypothesen unbefriedigend. Auch waren sie für den Astronomen, der Newtons Gravitationsgesetz zur Berechnung der Bewegungen von Himmelskörpern benutzte, ohne Belang. Ihm genügte die Erkenntnis, daß die Gestirne nach diesem Gesetz zueinander hin streben, als ob sie sich über die Entfernung hin anzögen; wie man dieses Streben erklärte, war für seine Rechnungen bedeutungslos. Die Astronomen gewöhnten sich daran, die Gravitation so hinzunehmen, wie sie sich zunächst in der Erfahrung darbot: als eine Fernkraft. Der Erfolg der Himmelsmechanik aber ließ im Laufe der Zeit dann ihre Methode und die zugrunde liegende Anschauung zum Ideal werden, das die mathematische Physik immer mehr in seinen Bann zog. Indem man sich viel und erfolgreich mit (wirklichen oder scheinbaren) Fernkräften, mit Gravitation, Magnetismus,

Elektrizität, beschäftigte und sich an dieselben gewöhnte, verloren sie für das Denken der Naturforscher den Charakter des Seltsamen, Wunderbaren, Erklärungsbedürftigen. Nunmehr wurde es zum Ideal der exakten Naturwissenschaft, alle Naturvorgänge auf Bewegungen (von zum Teil unsichtbar kleinen Körpern, wie Molekülen, Atomen) zurückzuführen, die gleichen oder ähnlichen Gesetzen und Kräften unterstehen wie die Bewegungen unseres Planetensystems. Es wurde schon angedeutet, welchen Einfluß dies Ideal auf die Entwickelung der Strukturhypothesen ausübte. In der mechanischen Naturauffassung bewirkte es eine tiefgreifende Umgestaltung. An Stelle der Druck- und Stoßwirkungen traten Fernwirkungen. Auf diese wurden auch die scheinbaren Berührungswirkungen, wie die Kohäsion der Teilchen des gleichen Körpers, die Adhäsion zwischen Teilchen verschiedener Stoffe (z. B. das Haften von Wasser an Glas) usw. zurückgeführt; hier handelt es sich um Fernkräfte, die, allerdings nur über sehr kleine Abstände hin, die Moleküle gleicher oder verschiedener Stoffe zusammenhalten. Auf Fernkräfte werden nun auch Schiebung, Druck- und Stoßwirkung, Undurchdringlichkeit und Elastizität zurückgeführt. Körper sind undurchdringlich für einander, schieben oder stoßen einander beim Zusammentreffen fort, weil zwischen den Molekülen sich erhebliche und stark anwachsende Fernkräfte geltend machen, wenn diese sehr nahe zusammengebracht werden. Wenn also ein Körper einen zweiten fortschiebt oder -stößt, so kommen die Moleküle beider Körper dabei gar nicht zur Berührung; sie kommen nur einander so nahe, daß sich jene molekularen Abstoßungskräfte stark genug geltend machen, um weitere Annäherung zu verhindern. Diese Kräfte sind es denn auch, welche unmittelbar den Bewegungseffekt des Zusammentreffens bewirken, der in verschiedener Weise sowohl den stoßenden wie den gestoßenen Körper betreffen kann; der erstere kann z. B. zurückgeschleudert werden.

Zurückführung scheinbarer Berührungskräfte auf Fernkräfte.

Während also die ältere mechanische Naturauffassung die Fernwirkungen auf Berührungswirkungen, auf Schiebung, Druck und Stoß zurückzuführen bestrebt war, werden nun umgekehrt die Berührungswirkungen der Kohäsion, Adhäsion usw., sowie Schiebung, Druck und Stoß auf Fernkräfte zurückgeführt; diese von den unsichtbar kleinen Bausteinen der Körper ausgeübten Fernkräfte machen sich allerdings nur über sehr kleine Abstände hin geltend. Es gibt anziehende Molekularkräfte (Kohäsion, Adhäsion), die der Entfernung der Teilchen widerstreben, und abstoßende, die sich bei dem Versuche geltend machen, die Moleküle ungewöhnlich nahe zusammenzudrängen.

Die neuere mechanische Naturauffassung ließ also die Fernkräfte als solche gelten, ja sie führte sogar scheinbare Berührungswirkungen auf Fernkräfte zurück. Freilich war das ältere Ideal der mechanischen Anschauung, das eine Zurückführung aller Wirkungen, auch der scheinbaren Fernwirkungen, auf Berührungswirkungen forderte, nur stark zurückgedrängt, nicht aber gänzlich vernichtet. Faraday war es vor allem, der gegen die Fernkräfte einen lange wenig beachteten, schließlich aber doch erfolgreichen Kampf führte. Die Fern-

Reaktion gegen die Fernwirkungsannahme durch die Faraday-Maxwellsche Lehre.

wirkungstheorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen unterlag der von Faraday ausgehenden, von Maxwell fortgeführten und von Hertz glänzend bestätigten Hypothese einer Vermittlung der elektrischen und magnetischen Wirkungen durch ein unwahrnehmbares Medium, den Äther. Die Gravitation freilich war nicht so leicht ihres Fernwirkungscharakters zu entkleiden. Und der Erfolg der Faraday-Maxwellschen Anschauungen bedeutete keineswegs eine Rückkehr zur alten mechanischen Druck- und Stoßhypothese, sondern eher eine Niederlage der ganzen mechanischen Naturauffassung. Denn es erschien nicht leicht angängig, die Ätherzustände der Faraday-Maxwellschen Lehre mechanisch zu deuten. Man wurde also zugleich an der Fernwirkungslehre und an der ganzen mechanischen Auffassung irre. Es bildete sich eine mächtige Gegenströmung gegen alle Hypothesenbildung auf physikalischem und chemischem Gebiete; mit der einen großen Hypothesengruppe, mit derjenigen der mechanischen Hypothesen, hing die andere, die der Strukturhypothesen, ja aufs engste zusammen. Übrigens verstärkten philosophische Zeitströmungen, wie der Positivismus, diese hypothesenfeindliche Stimmung. In allerjüngster Zeit wurde sie jedoch von philosophischer Seite durch logisch-erkenntnistheoretische Kritik bekämpft, und sie verlor ihren zeitweise sehr starken Einfluß bei Physikern und Chemikern fast völlig infolge der neuen eindrucksvollen Triumphe der Strukturhypothesen.

Indessen mit der neuesten Blüte der Strukturhypothesen konnte die mechanische Naturauffassung nicht einfach wieder aufleben, weder in der Ausgestaltung durch die ältere Schiebungs- bzw. Druck- und Stoßwirkungslehre, noch in der neueren durch die Fernwirkungslehre. Wenn man gegenwärtig überhaupt die Hoffnung hegt, daß alle Naturvorgänge auf Bewegungen zurückführbar sind, daß die kinetische Naturauffassung völlig durchzuführen ist (auch für das Geschehen im Vakuum), so wird man sie doch nicht mehr speziell als mechanische Auffassung ausgestalten wollen. Es ist ganz ungewiß, ob sich das etwaige Geschehen im Vakuum den Sätzen der traditionellen Mechanik fügt. Jedenfalls ist dies schon bei den Elektronen nicht einfach der Fall, da ja ihre „scheinbare" Masse oder Trägheit nicht unabhängig ist vom Bewegungszustande, was von der trägen Masse der gewöhnlichen Körper in der traditionellen Mechanik angenommen wird. Die Trägheit des Elektrons (und nach der elektrischen Hypothese der Materie schließlich jede Trägheit) erscheint nicht mehr als eine letzte unveränderliche Eigenschaft des Bewegten, sondern als etwas Abgeleitetes, als eine Wirkung der bewegten elektrischen Ladung auf sich selbst, die durch das umgebende Feld vermittelt wird und von der Geschwindigkeit der Bewegung abhängt. Die Trägheit des Elektrons ist keine unzurückführbare mechanische Grundeigenschaft, sondern eine abzuleitende, zu erklärende Erscheinung, die sich aus den Grundeigenschaften der Elektrizität ergibt, wie die mit der elektromagnetischen Trägheit wesensgleiche Erscheinung der Selbstinduktion des elektrischen Stromes. Wenn eine Ladung sich bewegt, so entsteht ein magnetisches Feld; ändert sich die Bewegung der Ladung, so erfolgt eine Änderung dieses magnetischen Feldes, die ein elektrisches Feld, eine elektrische Kraft hervorruft,

Ersatz der traditionellen Mechanik durch die Lehre von der Bewegung der Elektrizität.

welche der Bewegungsänderung der Ladung widerstrebt und so eine Trägheit derselben ergibt; denn die Trägheit ist ein Widerstand gegen Änderung des Bewegungszustandes. Wir schreiben einem Objekt Masse zu, weil es Trägheit besitzt, weil es Widerstand gegen Änderung des Zustandes der Bewegung (oder, im speziellen Falle, der Ruhe) leistet. Die elektrischen Ladungen, und nach der elektrischen Theorie der Materie alle gewöhnlichen Körper, haben also nur darum Masse, weil sie aus Elektrizität bestehen. Daher ist diese Masse auch nicht einfach konstant, wie die Masse, mit der die traditionelle Mechanik rechnet, sondern veränderlich entsprechend den Gesetzen der Elektrizitätslehre. Wenn die traditionelle Mechanik für die Bewegungen gewöhnlicher Körper zu gelten scheint, so liegt dies daran, daß wir bei ihnen nur relativ geringe Geschwindigkeiten beobachten, d. h. Geschwindigkeiten, die weit hinter derjenigen des Lichtes zurückbleiben. Bei solchen Geschwindigkeiten macht sich die Veränderlichkeit der Masse nicht merklich geltend. Natürlich werden auch diese langsameren Bewegungen nach der elektrischen Hypothese der Materie von den Gesetzen einer allgemeinen Elektrizitätsbewegungslehre beherrscht. Die traditionelle Mechanik, die alte Lehre von der Bewegung gewöhnlicher Körper, gehört nach dieser Auffassung hinein in diese allgemeine Elektrizitätsbewegungslehre; sie ist eine spezielle Ausgestaltung der letzteren, die bei den gewöhnlichen, relativ langsamen Bewegungen (angenäherte) Gültigkeit besitzt.

Wird in der Gegenwart die kinetische Naturauffassung durchgeführt, so sind diese Verhältnisse zu berücksichtigen. Die alte Mechanik beherrscht nicht alle Bewegungen. Eine allgemeine kinetische Naturauffassung kann keine mechanische Auffassung mehr sein. Wenn alle Stoffe (vom Äther und von den Feldstoffen sei hier abgesehen) aus Elektrizitätspartikelchen bestehen, so werden alle Bewegungen von der Elektrizitätsbewegungslehre, von der Elektrodynamik (dies Wort im weitesten Sinne genommen) beherrscht. An Stelle der kinetisch-mechanischen Naturauffassung der einen oder anderen Art tritt die kinetisch-elektrodynamische, oder kürzer die kinetisch-elektrischeNaturauffassung. Sie besagt: Alles Naturgeschehen ist Bewegung elektrischer Ladungen, die den Gesetzen der Elektrodynamik gehorcht. Diese kinetisch-elektrische Auffassung des Natur-Geschehens bildet die Ergänzung zur elektrischen Auffassung des Natur-Seins, zur elektrischen Hypothese der Materie, welche besagt: Die ganze Natur ist aus elektrischen Ladungen, aus Elektrizitätspartikelchen, aufgebaut.

Kinetisch-elektrische Naturauffassung.

Ob diese kinetisch-elektrische Auffassung der (unbelebten) Natur haltbar ist, muß die Zukunft lehren. Zurzeit steckt selbstverständlich sehr viel Hypothetisches in ihr. Die elektrische Hypothese der gewöhnlichen Materie erschien schon recht kühn. Die völlige Durchführbarkeit der kinetischen Auffassung ist auch keineswegs gesichert, so gut begründet einzelne kinetische Theorien, wie die der Wärme, erscheinen mögen. Vor allem bleibt die Unsicherheit bezüglich dessen, was im „leeren Raum" sich befinden und vor sich gehen mag. Betrachtet man diesen wirklich als leer, sieht man die elektrischen und magnetischen Felder als Fiktionen an, so bleiben nur die gewöhnliche Materie und ihre

Bausteine; damit wäre das Naturbild sehr vereinfacht und viel für die kinetisch-elektrische Auffassung gewonnen. Nimmt man einen Äther an, so fragt es sich, wie er sich zu den elektrischen Ladungen verhält, ob er ihre Grundsubstanz oder einen ganz anderen Stoff darstellt, und es fragt sich ferner, ob auch das Geschehen im reinen Äther ein bloßes Bewegungsgeschehen ist. Läßt man Feldstoffe gelten, indem man den Äther leugnet, so ergeben sich die Fragen, ob sie von gleicher oder anderer Substanz sind wie die elektrischen Partikelchen, ob auch an den Feldstoffen nur Bewegungsvorgänge stattfinden oder vielleicht auch andere Veränderungen. Alle diese Probleme müssen vorderhand ganz unentschieden bleiben, und damit bleibt eine gewaltige Lücke im kinetisch-elektrischen Naturbilde.

Die kinetische Auffassung erscheint zwar hypothetisch, aber doch durchaus berechtigt, wenn wir sie auf das Geschehen an den gewöhnlichen Körpern und ihren Bausteinen beschränken. In gleicher Beschränkung hat speziell die kinetisch-elektrische Auffassung viel für sich, wenn sie auch noch als sehr gewagt erscheinen muß. Noch viel fragwürdiger aber werden solche allgemeinen Auffassungen, wenn wir sie auf den etwaigen Inhalt des „leeren Raumes" und die Vorgänge in ihm ausdehnen.

Wir haben früher gesehen, daß einer modernisierten Fernwirkungstheorie der Elektrizität ernste Bedenken entgegenstehen. Man wird daher die kinetisch-elektrische Naturauffassung als Berührungswirkungslehre auszubauen trachten; die Gravitation macht freilich der Zurückführung auf elektrische Berührungswirkungen Schwierigkeiten. Es könnte nun der Gedanke auftauchen, ob die Berührungswirkungen der kinetisch-elektrischen Naturauffassung nicht als einfache Schiebungs- oder Druckwirkungen interpretiert werden könnten; damit ginge ein altes Ideal der kinetischen Naturanschauung in Erfüllung. Indessen bietet der gegenwärtige Stand der Forschung keinen Anhalt für solche Gedanken und Hoffnungen. —

Wir haben zwischen kinetischer und mechanischer Naturauffassung unterschieden und die letztere als eine spezielle, und zwar unzulängliche Form der ersteren aufgefaßt. Nach dem Vorhergehenden bedarf unsere Unterscheidung keiner weiteren Rechtfertigung. Es mag nur darauf hingewiesen werden, daß sie nicht allgemein üblich ist, daß noch immer zuweilen von einer mechanischen Naturauffassung die Rede ist, wo besser von kinetischer Auffassung gesprochen würde. Vor der Entstehung der kinetisch-elektrischen Auffassung war allerdings kein Anlaß, zwischen kinetischer und mechanischer Auffassung zu unterscheiden.[1])

[1]) Spezielleres über das Geschehen an den unbelebten Körpern und die einschlägigen Gesetze, sowie über die kinetische Naturauffassung findet man in den die Physik und die Chemie darstellenden Bänden der Kult. d. Gegenw. (III, III, 1 und III, III, 2). Über die Grundgesetze der älteren und der neuen Bewegungslehre und über andere Prinzipien des Geschehens in der toten Natur vergl. E. Becher, Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung, 1914.

DIE LEBENDEN KÖRPER UND DAS LEBENSGESCHEHEN.

Wir haben bisher von den Körpern ganz im allgemeinen gesprochen. Im folgenden müssen wir nun eine spezielle Gruppe von Körpern, die sich durch eigentümliche Merkmale aus der Gesamtheit der Naturdinge heraushebt, ins Auge fassen. Es handelt sich um die lebenden Körper der Pflanzen und Tiere, auch der Menschen. Wir konnten bisher von den Körpern im allgemeinen reden, ohne den Unterschied zwischen toten und lebenden Objekten zu berücksichtigen, weil unsere bisherigen Ausführungen auch für die lebendigen Naturdinge gelten.

Die lebenden Körper bestehen aus den gleichen Elementen (Atomen) wie die toten. Bedeutung der physikochemischen Gesetze und Prinzipien für die lebende Natur.

Zunächst sind nämlich die lebenden Körper aus den gleichen *Bausteinen* aufgebaut wie die toten. Das gilt für die elektrischen Uratome, soviel wir wissen, und für die Atome der chemischen Elemente. In der lebenden Natur kommen keine Elemente oder Atome vor, die sich nicht auch in der toten fänden. Auch in der lebenden Materie sind die Atome zu Bausteinen höherer Ordnung, zu Molekülen, vereinigt. In bezug auf das ursprüngliche Baumaterial und die feinste Mikrostruktur findet sich also kein Wesensunterschied zwischen lebenden und toten Körpern.

Was nun das *Geschehen* an der lebenden und an der toten Materie anbetrifft, so können die verschiedensten Vorgänge, die uns an toten Körpern und ihren Bausteinen entgegengetreten sind, auch an und in lebenden Körpern sich ereignen. Soweit die kinetischen Hypothesen für das Geschehen in der unbelebten Natur zu Recht bestehen, werden sie auch für die belebte Natur von Bedeutung sein. Das gleiche wird wohl auch für die *Gesetze* gelten, die die unbelebte Natur beherrschen. Grundgesetze wie das Lavoisiersche Prinzip von der Erhaltung der Materie bzw. des Gewichtes und das Energieerhaltungsprinzip haben sich auch für die Welt der Lebewesen bestätigt, soweit die Beobachtungen und die Genauigkeit der Versuchsmethoden reichen. Ob auch das Carnot-Clausiussche Entropieprinzip, nach welchem alle Energie in gleichmäßige Wärme überzugehen und so ihre Wirkungsfähigkeit zu verlieren strebt, auf das Geschehen in den Organismen Anwendung finden darf, läßt sich bezweifeln. Es bleibt eben die vitalistische Ansicht möglich, daß in den belebten Wesen zu den aus der anorganischen Welt bekannten Faktoren neue Realitäten hinzukommen, deren Wirkung den Lauf der Lebensvorgänge wesentlich mitbestimmt. Nach vitalistischer Ansicht werden die Gesetze der toten Natur, der Physik und der Chemie, auch für die organische Welt von größter Bedeutung sein; aber die besonderen vitalen Faktoren kommen hinzu, sodaß die

physikochemischen Gesetze nicht ausschließlich und rein, sondern zum Teil modifiziert und kompliziert zur Geltung kommen.

Die charakteristischen Merkmale der Lebewesen. Jedenfalls sind aber jene besonderen vitalen Faktoren, die nach vitalistischer Lehre die Organismen von anderen Gebilden unterscheiden sollen, nicht wahrzunehmen; sonst könnten die unter den Biologen so zahlreichen Mechanisten ihre Existenz nicht leugnen. Es muß aber doch unterscheidende Merkmale der Lebewesen geben, die jedem Beobachter sich darbieten, mag er nun Mechanist oder Vitalist sein.

Die Formen der Lebewesen.

Wir alle erkennen die Organismen als solche zunächst an ihren besonderen Formen, die sie als Baum oder Strauch oder Kraut, als Mensch, Vogel, Fisch, Schmetterling usw. charakterisieren. Indessen werden wir an all diesen so ungemein zahlreichen und mannigfaltigen äußeren Formen kaum etwas Gemeinsames finden, das alle Lebewesen gegenüber den unbelebten Körpern auszeichnete. Wenn ein Organismus durch Absterben sich in ein totes Gebilde verwandelt, kann die äußere Form so gut wie unverändert fortbestehen; sie findet sich dann also an einem unbelebten Körper. Die Formen mancher Lebewesen kommen auch in der toten Natur vor; man denke z. B. an die bei einfachen Organismen und toten Körpern (wie Gestirnen, Regentropfen usw.) so häufige Gestalt der Kugel. Auch kann von Menschenhand die äußere Form von Lebewesen in totem Material künstlich nachgebildet werden. Die äußere Form macht also ein Naturding nicht zu einem lebenden Wesen. Wenn wir ein neues Objekt, z. B. einen fremdländischen Vogel, an seiner Form sofort als Organismus erkennen, so ist dies nur dadurch möglich, daß wir von früheren Erfahrungen her wissen, daß derartige Formen mit den charakteristischen Merkmalen des Lebens verbunden auftreten.

Für den Naturforscher käme neben der gröbern, jedermann leicht auffallenden äußeren Form die feinere, vor allem auch die innere Gestaltung der Lebewesen als charakteristisches Merkmal in Betracht. In der groben äußeren Form mag eine Bildsäule dem lebenden Menschen, ein lebloses Stäbchen einem Bazillus recht ähnlich sein. Eine besondere innere Struktur aber zeichnet das Lebewesen vor dem toten Objekte aus, mag diese auch, wie bei manchen Bazillen, wegen ihrer winzigen Dimensionen im wesentlichen unwahrnehmbar sein.

Die Struktur der lebenden Körper. Die Zelle als Baueinheit. Plasmastruktur.

Wir hätten also nach Strukturmerkmalen zu fragen, die allen Lebewesen gemeinsam wären und sie von den toten Naturdingen unterschieden. Da käme vor allen Dingen in Betracht, daß die Lebewesen, Pflanzen wie Tiere, aus Zellen (und Zellprodukten) aufgebaut sind („Vielzellige") oder aus einer einzigen Zelle bestehen („Einzellige" oder — nach Haeckel — Protisten). Die Zelle, die meist mikroskopisch kleine Struktureinheit der Lebewesen, die jedoch bereits aus einer Unzahl von Molekülen aufgebaut ist, besteht aus dem Zelleib (Zellkörper, Cytosoma, Cytoplasma), und dem eingelagerten meist kugelförmigen Zellkern (Nucleus). Meistens kommen noch andere Bestandteile hinzu, so bei den Pflanzenzellen gewöhnlich eine Zelleib und Kern einschließende Zellhaut (Zellmembran), die das Ganze erst zu einem Kämmerchen macht, auf das der Name Zelle paßt.

Ursprünglich hatte man gemeint, die Zellhaut gehöre notwendig zu einer richtigen Zelle; doch hat sich gezeigt, daß sie sehr vielen, insbesondere tierischen Zellen fehlt.

Wenn wir nun sagen würden: die lebenden Körper unterscheiden sich dadurch von den toten, daß sie Zellen darstellen oder aus Zellen (und ihren Produkten) aufgebaut sind, so würden wir zwar etwas sehr Wesentliches berühren, aber doch Unrichtiges behaupten. Nach dem Tode der Lebewesen können die Zellen noch fortbestehen. Ein Körper ist also nicht darum lebendig, weil er in der Weise einer Zelle aufgebaut ist oder aus einer Anzahl von Zellen besteht. Die Zellen selbst können schon lebendig sein, wie die meiner Muskeln und Nerven, oder tot, wie diejenigen, die man in mikroskopischen Dauerpräparaten zu sehen pflegt. Bei der Zelle selbst müssen wir also schon fragen: was unterscheidet das lebende Gebilde vom toten?

Übrigens wäre darauf hinzuweisen, daß es einfache kleine Lebewesen gibt, die nicht einmal richtige Zellen darzustellen scheinen, da man den Unterschied von Zelleib und Zellkern bei ihnen (z. B. bei Bakterien) nicht findet. Auch existieren große, die Formen höherer Pflanzen mit Wurzeln, Stengeln und Blättern nachahmende Algen, die nicht aus einzelnen Zellen aufgebaut sind. Man hält hier die Zellenlehre aufrecht, indem man diese Algen, die Caulerpazeen, als aus einer einzigen Zelle bestehend betrachtet. Immerhin zeigt sich schon hier, daß man die Lehre von der Zellstruktur der Organismen vorsichtiger fassen muß, als es oftmals geschehen ist.

Es fragt sich, ob nicht noch feinere Gestaltverhältnisse als unterscheidendes Merkmal der lebenden Körper aufgefaßt werden können. Es kämen gewisse Strukturbesonderheiten der Zellsubstanz in Frage, die zum Teil noch sichtbar sind, zum Teil hypothetisch angenommen werden. Man streitet darum, ob die lebende Substanz eine waben- oder schaumartige Struktur besitzt oder aus lauter feinen Fädchen oder auch Körnchen aufgebaut ist, die in eine flüssige bzw. gallertartige Substanz eingelagert sind. Es ist wohl anzunehmen, daß gewisse feine Strukturen für die lebende Substanz charakteristisch sind, daß sie beim Sterben verloren gehen; die Beobachtung zeigt mancherlei feinere Strukturveränderungen als Folgen des Todes. Es mag sein, daß es allgemeine Strukturbesonderheiten der lebenden Substanz gibt, die nur dieser zukommen. Indessen es muß Unterscheidungsmerkmale zwischen lebendigen und toten Körpern geben, die auffälliger sind als solche feinsten, mehr oder weniger hypothetischen Strukturverhältnisse, an die wir gar nicht zu denken pflegen, wenn wir die Lebendigkeit eines Objektes feststellen.

Physikalische und chemische Beschaffenheit der lebenden Substanz.

Wenn wir die feinste Struktur der Zellsubstanz als Unterscheidungsmerkmal in Betracht gezogen haben, so liegt es nahe, zu untersuchen, ob die physikalische oder chemische Beschaffenheit der lebenden Substanz diese von der toten unterscheide. Auf die Beschaffenheit der Körper- bzw. Zellsubstanz scheint es doch ankommen zu müssen, wenn die Gestalt des Körpers bzw. der Zelle im Leben und im Tode die gleiche sein kann. An der Zellsubstanz fällt nun zunächst der zähflüssige Zustand auf, der sich bald mehr dem festen, bald

dem flüssigen nähern kann. Darauf, daß die Lebewesen ganz oder teilweise aus zähflüssiger Substanz aufgebaut sind, beruht es, daß sie ihre Gestalt in mannigfacher Weise ändern können; natürlich spielen dabei andere Faktoren — z. B. die Gelenke in starren Skeletten — in bedeutsamer Weise mit.

So wichtig nun der zähflüssige Zustand der übrigens in Wasser unlösbaren, meist farblosen lebenden Substanz (des,,Plasmas") ist, er kann selbstverständlich nicht ohne weiteres die lebenden Körper von den leblosen unterscheiden; denn auch bei den letzteren kommt dieser Zustand vor, z. B. dei dicken Ölen, bei Gallerte usw. Eher mag man annehmen, daß sich das Plasma von allen toten Stoffen durch seine chemische Natur unterscheidet. Leider ist jedoch die chemische Zusammensetzung der lebenden Substanz nicht recht bekannt. Man weiß nicht sicher, ob es sich in der Hauptsache um eine hochkomplizierte chemische Verbindung (Kassowitz) oder um ein Gemisch handelt. Jedenfalls finden wir überall als Bestandteile der lebenden Substanz Eiweißkörper, fettähnliche Körper („Lipoide" wie Lecithin, Cholesterin, Protagon), Fette (mindestens in Spuren), Kohlehydrate (wie Stärke, Zuckerarten), anorganische Salze und Wasser. Sie ist in der Hauptsache aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel aufgebaut; weitere Elemente, wie Phosphor, Eisen und andere Metalle kommen hinzu.

Wenn man in der Chemie von organischen Verbindungen spricht, so meint man keineswegs Stoffe, die nur in lebenden Körpern sich fänden; man meint einfach Kohlenstoffverbindungen. Sehr viele Kohlenstoffverbindungen, auch solche, die in Pflanzen und Tieren entstehen und enthalten sind, können auch außerhalb des Organismus künstlich gebildet werden, etwa aus Kohlenstoff und anorganischen, kohlenstofffreien Substanzen. Früher glaubte man, daß die Kohlenstoffverbindungen mit Ausnahme einiger weniger ganz einfacher Stoffe, wie Kohlenoxyd und Kohlensäure, nur in lebenden Wesen entstehen könnten; daher eben bezeichnete man sie als organische Verbindungen. Nachdem Wöhler (1828) im Laboratorium den Harnstoff zusammengesetzt hatte, und weiterhin Entsprechendes bei sehr vielen „organischen" Verbindungen gelang, wurde es fraglich, ob es besondere chemische Verbindungen gebe, die nur in lebenden Körpern sich finden. Immerhin ist es möglich, daß gewisse, mit einem Verwornschen Ausdruck als Biogene zu bezeichnende chemische Verbindungen existieren, ohne die organisches Leben unmöglich ist, und die selbst nur im lebenden Plasma sich finden, die aber beim Tode sofort zerfallen; in ihnen hätten wir dann die eigentlichen „organischen", d. h. die Lebens-Verbindungen zu erblicken. Doch ist die Biogenlehre hypothetisch.

Früher sprach man wohl von „lebendem Eiweiß" in der Ansicht, daß eine besondere Art von Eiweiß (oder mehrere Eiweißarten) im wesentlichen die lebende Substanz bilden. Indessen sind nichteiweißartige Körper, z. B. Kohlehydrate, für die lebende Substanz ebenso unentbehrlich wie Eiweißkörper.

Jedenfalls gibt auch die stoffliche, speziell etwa die chemische Beschaffenheit nicht die gewöhnlichen Unterscheidungsmerkmale des Lebendigen ab. Diese liegen im Stoffe so wenig wie in der Form der Lebewesen; sie liegen in

den Vorgängen, die wir am lebenden Körper, an seiner Substanz und an seiner Form, beobachten. Ein Körper erscheint uns lebendig, wenn er atmet und Nahrung aufnimmt, wenn er auf Reize hin Bewegungen aus eigener Kraft ausführt, wenn er wächst, und wenn er sich fortpflanzt (und dabei seine Natur vererbt). Solche Unterscheidungsmerkmale benutzen wir, wenn wir einen Körper daraufhin prüfen, ob er lebt oder nicht. Es handelt sich um Vorgänge oder, wenn man will, um Tätigkeiten, die vorübergehende oder dauernde Formänderungen oder Substanzänderungen darstellen; die Formänderungen bei der Muskelbewegung z. B. setzen chemische Änderungen in der Muskelsubstanz voraus, die freilich für gewöhnlich leicht wieder ausgeglichen werden.

Die Unterscheidungsmerkmale des Lebendigen liegen in Vorgängen am lebenden Körper.

Wenn wir nun die angeführten Lebensvorgänge ins Auge fassen und erwägen wollen, ob sie zur Unterscheidung lebender und toter Dinge dienen können, so beginnen wir zweckmäßigerweise mit den Vorgängen der Ernährung, Atmung, Ausscheidung usw., mit den Stoffwechselvorgängen; denn diese sind für alle anderen Lebensvorgänge, für Wachstum und Fortpflanzung, Reizaufnahme und Bewegung, von grundlegender Bedeutung. Der Stoffwechsel verläuft in doppelter Richtung, nämlich aufbauend und abbauend. Auf der einen Seite werden im Organismus aus einfacheren Stoffen kompliziertere zusammengesetzt, wie sie für denselben notwendig sind; auf der anderen Seite werden kompliziertere Stoffe wiederum in einfachere zerlegt. Man pflegt den Aufbau komplizierterer Verbindungen wohl als Assimilation, die Zersetzung als Dissimilation zu bezeichnen. Durch synthetische Vorgänge wird ja im lebenden Körper aus den aufgenommenen Stoffen die eigene Lebenssubstanz erneuert, sofern sie verbraucht ist, und vermehrt, wie es beim Wachstum erforderlich ist; aufgenommene, von der eigenen Lebenssubstanz zunächst verschiedene, tote Stoffe werden von dieser also sich selbst ähnlich gemacht, „assimiliert", indem sie zu lebendem Plasma aufgebaut werden. Diese Neuerzeugung von lebendiger Substanz durch schon vorhandene lebendige Substanz wäre also die Assimilation im eigentlichen Wortsinne. Doch rechnet man zur Assimilation auch Aufbauprozesse, die nicht zur Bildung der eigentlichen Lebenssubstanz, des Plasmas, führen, sondern zu chemischen Verbindungen, die z. B. als Vorratstoffe im Organismus aufbewahrt werden, die sich also durchaus wie tote Massen innerhalb des Organismus verhalten.

Die Stoffwechselvorgänge.

Der Assimilation steht die Dissimilation gegenüber. Sie kann das Plasma, die eigentliche Lebenssubstanz, selbst treffen (Dissimilation im eigentlichsten Wortsinne); aber es werden auch andere im lebenden Körper sich findende Stoffe zerlegt. Der Stoffwechsel besteht also nicht nur im Aufbau und Zerfall der eiweißhaltigen Lebenssubstanz, des Plasmas.

Der Stoffwechsel hat nicht etwa nur die Aufgabe, den Aufbau des lebenden Körpers zu ermöglichen, wie er uns am deutlichsten im Wachstum des unreifen Organismus entgegentritt. Er besorgt dem Organismus zugleich die Energievorräte, die dieser zu seinen Arbeitsleistungen braucht. Wie die Lokomotive mit den Kohlen chemische Energie aufnimmt, die sie befähigt, Lasten zu ziehen, so nimmt das Pferd mit dem Hafer chemische Energie auf. Bei den Dissimilations-

vorgängen wird die Energie verfügbar. Mit dem Stoffwechsel ist im lebenden Körper also ein Energiewechsel innig verbunden. Wir können zwischen einem Bau-Stoffwechsel und einem Betriebs-Stoffwechsel unterscheiden; der erstere liefert das Material für Aufbau und Ersatz der Körpersubstanz, während der letztere der Energieversorgung dient, ähnlich wie die Kohlenzufuhr bei einer Dampfmaschine.

Das Ausgangsmaterial der Assimilation und die Endprodukte der Dissimilation sind zum großen Teil wohlbekannt. Den Stoffwechselvorgängen hat man viele und erfolgreiche Forscherarbeit zugewandt; doch handelt es sich um ein ungemein zusammengesetztes Ineinandergreifen von Teilprozessen, das als Ganzes und in seinen Einzelheiten noch keineswegs befriedigend bekannt ist. Solange die chemische Natur des Plasmas selbst nicht recht bekannt ist, kann natürlich von einer endgültigen Erkenntnis der Assimilation und Dissimilation im eigentlichsten Sinne nicht gut die Rede sein.

Das ist von einer gewissen Bedeutung bei der Beurteilung der Frage, ob der Stoffwechsel als Unterscheidungsmerkmal der lebenden Körper betrachtet werden darf. Wenn wir alle Phasen des Stoffwechsels bis ins einzelne kennten, könnten wir eher beurteilen, ob sie allesamt auch in der toten Natur vorkommen können. Analoga zu Stoffwechselvorgängen sind in manchen außerhalb des Organismus verlaufenden chemischen Prozessen vielfach gefunden worden. Man hat darauf hingewiesen, wie die Kerzenflamme eine Art von Stoffwechsel unterhält, indem sie das feste Stearin in den für die eigene Unterhaltung notwendigen flüssigen und gasförmigen Zustand überführt und dann zersetzt und verbrennt, wobei sie die chemische Energie ihrer „Nahrung" in Wärme verwandelt. Die Flamme erhält sich, indem ein beständiger Strom von Stoff und Energie durch sie hindurchgeht, ähnlich wie es auch bei einem Organismus der Fall ist.

Der Vorgang der Dissimilation, der Zersetzung, bedeutet an sich ja nichts Besonderes. Eher kann man in der Assimilation im eigentlichsten Sinne, in dem Aufbau des Plasmas durch das Plasma, eine besondere Leistung sehen. Freilich auch dazu gibt es Analoga in der toten Natur, bei physikalischen und chemischen Prozessen. So regt z. B. ein Teilchen einer festen kristallinischen Substanz vielfach die Abscheidung der gleichen festen Substanz aus der entsprechenden Lösung an. Ein einfaches chemisches Analogon bringt Kassowitz bei. Wenn man kohlensaures Natron mit etwas Wasser vermengt und dann Kohlensäure durch das Gemenge leitet, so tritt zunächst keine Änderung ein. Wird aber ein wenig doppeltkohlensaures Natron hinzugefügt, so verwandelt sich das kohlensaure Natron mit Hilfe der Kohlensäure und des Wassers in doppeltkohlensaures Natron. Das fertige doppeltkohlensaure Natron „assimiliert" also die anderen Substanzen, verwandelt auch sie in doppeltkohlensaures Natron, wie auch das lebende Plasma aus anderen Substanzen neues Plasma aufbaut. Schöne Analoga zur Assimilation aus dem Gebiete der organischen Chemie haben Giglio-Tos und (H. Kaufmann und) Haecker angeführt.

Immerhin bleibt trotz solcher Analoga der organische Stoffwechsel in seiner Eigenart ein Unterscheidungsmerkmal, das uns lebende Körper als solche zu

erkennen ermöglicht. Abgestorbenes Plasma assimiliert nicht mehr. Die der Assimilation vergleichbaren Vorgänge in der toten Natur spielen sich an anderen Stoffen ab und sind auch viel einfacher als die echte Assimilation, als der Aufbau des Plasmastoffes.

Das Wachstum.

Auf der Assimilation, auf dem Baustoffwechsel, beruht das Wachstum. Nach dem Vorhergehenden braucht kaum noch gesagt zu werden, daß es Analoga des Wachstums in der toten Natur gibt. Die Flamme, die ihre Nahrung gleichsam assimiliert, indem sie sie vergast, kann wachsen, indem die Assimilation zunimmt. Am besten läßt sich das Wachstum der Lebewesen wohl demjenigen von Kristallen vergleichen, die in der entsprechenden Mutterlauge sich vergrößern und dabei ihre charakteristische Form bewahren; beim Wachsen von Organismen werden ja auch die charakteristischen Formen derselben bewahrt oder gebildet. Bei genauerem Zusehen muß sich allerdings das organische Wachsen von solchem Wachstum in der toten Natur unterscheiden, weil der komplizierte Stoffwechsel, auf dem das erstere beruht, in der unbelebten Welt nicht vorkommt. Auch die feineren, beim Wachsen der Lebewesen vorkommenden Strukturveränderungen haben etwas sehr Charakteristisches. Das Wachsen der höher stehenden Lebewesen beruht vor allem darauf, daß ihre Zellen sich in ziemlich komplizierter Weise in neue Zellen teilen; so ergibt sich eine Vermehrung der Zellen und, indem diese dann wieder sich vergrößern, ein Wachstum des ganzen Organismus. Ein solches Wachsen durch Zellteilung ist für die organische Welt charakteristisch.

Die Fortpflanzung.

Bei den aus einer einzigen Zelle bestehenden Lebewesen ist ein solches Wachstum durch Zellvermehrung natürlich nicht möglich. Da bedeutet die Zellteilung eine Vermehrung der Organismen, eine Fortpflanzung. Die Fortpflanzung hängt aufs engste mit dem Wachstum zusammen; sie stellt ein Wachstum, eine Ausbreitung des Lebens über die Schranken des Individuums hinaus dar. Es handelt sich stets um Loslösung eines Teiles der lebenden Substanz, der dann zu einem neuen Individuum auswächst. Der losgelöste Teil kann die Hälfte des ganzen elterlichen Organismus ausmachen, wie es bei Einzelligen sehr oft der Fall ist. Er kann auch aus einem winzigen Teile des elterlichen Organismus bestehen, etwa aus einer einzigen Zelle bei vielzelligen Lebewesen. Von besonderer Bedeutung und größter Verbreitung ist die geschlechtliche Fortpflanzung. Hier verschmelzen zwei verschiedene Fortpflanzungszellen, eine männliche und eine weibliche, erst zu einer einzigen, zur befruchteten Eizelle, aus der dann das neue Individuum sich entwickelt.

Die Fortpflanzung kann als ein die Lebewesen von den toten Körpern unterscheidendes Merkmal aufgefaßt werden. Zwar kann man auch hier Analoga in der toten Natur suchen. Quecksilbertropfen können z. B. unter gewissen Umständen in kleinere Teile zerfallen. Doch ergibt sich bei genauerem Zusehen, daß solche Teilungs- und Vermehrungsvorgänge viel einfacher sind als Fortpflanzungsvorgänge in der lebenden Welt.

Die Vererbung.

Der Unterschied tritt besonders hervor, wenn man das Vererbungsproblem ins Auge faßt, insbesondere in der Gestalt, in der es uns bei vielzelligen, kom-

plizierter gebauten Organismen entgegentritt. Unter Vererbung versteht man die Übertragung von Eigenschaften der Eltern bzw. Vorfahren auf die Nachkommen, wie sie insbesondere durch die Fortpflanzungszellen (Geschlechtszellen, Eizellen und Samenzellen) vermittelt wird. So gleicht z. B. der Sohn dem Vater zunächst insofern, als er die allgemein menschlichen Merkmale sowie Rassenmerkmale des Vaters aufweist; er gleicht ihm ferner in zahlreichen rein individuellen Zügen, vielleicht in bezug auf Nasenform, Haarfarbe oder Stimme. Alles, was der Sohn vom Vater ererbt, muß durch die mikroskopisch kleine Samenzelle übertragen sein, die mit der von der Mutter stammenden Eizelle verschmilzt und so zur Entwicklung des Sohnes führt. In der toten Natur gibt es nichts, was solchen Vererbungserscheinungen ernsthaft zur Seite gestellt werden könnte.

Die Regeneration.

Den Erscheinungen der Fortpflanzung und Vererbung sind die Regenerationsphänomene verwandt. Bei ihnen handelt es sich um Neubildung zerstörter oder entfernter Teile eines Lebewesens. So bilden z. B. Wassermolche abgetrennte Beine neu. Jene Verwandtschaft drängt sich schon einer oberflächlichen Betrachtung auf, wenn man gewisse extreme Fälle von Regeneration ins Auge faßt. Z. B. kann man Süßwasserplanarien in zahlreiche kleine Stücke zerschneiden, die alle wieder zu einem ganzen Individuum auswachsen. Auch aus einem Regenwurm kann man durch fortgesetztes Zerschneiden eine ganze Anzahl von Würmern gewinnen. Hier ermöglicht die Regenerationsfähigkeit also eine Vermehrung. Wie bei normaler Fortpflanzung wird in extremen Fällen aus einem kleinen Teil (bei Plattwürmern unter Umständen aus $^1/_{279}$ des Ganzen!) ein vollständiges neues Individuum.

Der Regeneration ähnliche Erscheinungen kommen auch in der toten Natur an Tropfen, Kristallen, Flüssigkeitsstrahlen, Flammen usw. vor. Wird von einem Tropfen (z. B. Quecksilbertropfen) etwas fortgenommen, so nimmt er doch gleich wieder eine normale Tropfenform an. Kristalle vermögen abgebrochene Ecken zu ergänzen. Wird die Gestalt eines Flüssigkeitsstrahles oder einer Flamme irgendwie, z. B. durch ein Hemmnis, gestört, so wird sie sofort neu gebildet, wenn die Störung fortfällt; man denke an den Strahl einer Wasserleitung, den man durch den Finger unterbricht, oder an eine Kerzenflamme, deren Gestalt man durch Blasen stört. Immerhin besteht zwischen solchen Erscheinungen in der toten Natur und ausgeprägten Regenerationsvorgängen bei Lebewesen ein großer Unterschied. Wird einem Wurm der Kopf abgeschnitten und dieser dann regeneriert, so wird von einer komplizierten Einrichtung ein fein differenziertes Gebilde weggenommen, und dieses wird dann von dem Rest der Einrichtung neugebildet. Die Sache liegt ungefähr so, wie wenn nach Abtrennung der Lokomotive von einem Eisenbahnzuge diese vom Rest des Zuges neu gebildet würde. Derartiges kommt in der toten Natur nicht vor. —

Die Bewegungsfähigkeit.

Wir hätten weiterhin die Reizbarkeit und Bewegungsfähigkeit der lebenden Körper ins Auge zu fassen. Beides hängt eng zusammen, insofern als Reize Bewegungen der Lebewesen auslösen, die diese dann aus eigener Kraft vollziehen. Übrigens spielen Reize auch im Stoffwechsel und beim Wachstum, bei der

Entstehung und Entwicklung des Individuums und bei der Regeneration eine wichtige Rolle. Bei der Reizaufnahme und der Ausführung aktiver Bewegungen sind Stoffwechselvorgänge von grundlegender Bedeutung, da sie die Energie für die Leistungen des Organismus liefern.

Das liegt bei den aktiven, d. h. aus eigener Kraft durchgeführten Bewegungen der Organismen auf der Hand. Man denke z. B. an die Muskelbewegungen des Menschen und der Tiere. Aus der Nahrung stammt die Energie, die zu diesen Bewegungen befähigt, und bei der Ausführung derselben wird chemische Energie im Muskel verbraucht. Bei anderen Bewegungsvorgängen liegt die Sache im Prinzip ebenso. Die Muskelbewegungen der Tiere sind nur die auffälligsten Bewegungsleistungen in der lebenden Natur. Auch in der Pflanzenwelt gibt es aktive Bewegungen, wie z. B. die auffälligen Blattbewegungen der zierlichen Sinnpflanze (Mimosa pudica); genauere Betrachtung erweist allgemeine Verbreitung der Bewegungsfähigkeit auch im Pflanzenreich. Man denke nur an die langsame Orientierung der Pflanzen nach dem Lichte. In pflanzlichen Zellen findet man zuweilen das Plasma in lebhafter Bewegung. Auch gibt es einfache pflanzliche Organismen, die sich frei bewegen und so ihren Aufenthaltsort wechseln können wie die meisten Tiere.

Wenn nun die Fähigkeit zu aktiver Bewegung in der organischen Welt auch ganz allgemein verbreitet ist, so stellt sie doch kein unterscheidendes Merkmal der Lebewesen dar; denn auch eine Lokomotive und ein Automobil bewegen sich auf Grund von Vorräten chemischer Energie, die sie in Gestalt von Kohle oder Benzin aufnehmen und mit sich führen. Trotzdem spielen aktive Bewegungen eine große Rolle als Erkennungszeichen des Lebens; sie dienen uns insbesondere dazu, das lebende Tier vom Leichnam zu unterscheiden. Doch gibt es ganz entsprechende Unterschiede in der unbelebten Natur; das Vorhandensein der Bewegungsfähigkeit läßt uns auch die intakte Lokomotive von der irgendwie beschädigten unterscheiden.

Etwas Eigenartiges erhalten die organischen Bewegungen vielfach durch den zähflüssigen Zustand der lebenden Substanz. Dieser ermöglicht oft vielseitige Modifikationen der Bewegungen; man denke z. B. an die wechselnden Bewegungen der Tentakel (Fühl- und Greifarme) von Polypen. Bei den Maschinen der Technik finden vor allem starre, jedenfalls nur ganz selten weiche und zähflüssige bewegliche Teile Verwendung; darauf beruht der starre Charakter der Bewegungen unserer Maschinen, den wir eben mit dem Worte „maschinenmäßig" zu bezeichnen pflegen. Durch Anwendung starrer Gebilde, wie Skelette, erzielt die lebende Natur vielfach Bewegungen, welche dies Gepräge des Maschinenmäßigen tragen.

Übrigens kommen neben dem zähflüssigen Zustand der lebenden Substanz noch andere Umstände in Betracht, die vielen organischen Bewegungen einen wechselnden, nicht-maschinenmäßigen Charakter geben.

Damit die in der lebenden Substanz aufgespeicherte Energie zu Bewegungsleistungen führt, bedarf es eines Anstoßes, einer Auslösung durch einen Reiz. **Die Reizbarkeit.** So wird die Muskelzusammenziehung durch einen Reiz ausgelöst, der zumeist

durch Nervenfasern dem Muskel zuströmt. Der Effekt eines Bewegung auslösenden Reizes ist vergleichbar der Wirkung des zündenden Funkens in einer Pulvermenge, deren chemische Energie durch letzteren ausgelöst und zum Teil in Bewegungsenergie umgewandelt wird. Der Nervenreiz, der den Muskel zur Arbeit veranlaßt, ist bereits ein Lebensvorgang. Es gibt aber auch Reize, die unmittelbar aus der toten Natur heraus in den Organismus hineinwirken. Solche äußeren Reize sind vor allem etwa die Sinnesreize des Lichtes, des Schalles, der Wärme, des Druckes usw. Sie brauchen nicht notwendig augenfällige „Reaktionen" des Lebewesens hervorzurufen. Die unmittelbaren Reizwirkungen, ohne die man überhaupt nicht von dem Vollzug einer Reizung sprechen kann, sind unauffällige Veränderungen in der lebendigen Substanz, die man als Erregungen bezeichnet. Besonders leicht sind gewisse Organe und Gewebe der Lebewesen reizbar, vor allem die Nerven. Indessen ist die Erregbarkeit als eine allgemeine Eigenschaft der lebendigen Substanz zu betrachten. Auch pflanzliches Plasma ist durch Licht-, Berührungs-, Schwerkraft- und chemische Reizung erregbar, wie die zahlreichen, durch Reize ausgelösten pflanzlichen Bewegungen dartun. Auffällige Reizbewegungen zeigen z. B. die Sinnpflanze oder Mimose, die auf einen Stoßreiz hin ihre Blätter zusammenlegt, und insektenfressende Pflanzen, die durch Bewegungen ihre Opfer einfangen und festhalten.

Die durch Reize hervorgerufenen Erregungen offenbaren sich in verschiedener Weise. Sie können am Orte ihrer Entstehung oder auch an anderen Stellen, zu denen sie sich fortpflanzen, Betätigungen des Organismus auslösen, die man als Reaktionen zu bezeichnen pflegt. So ruft z. B. ein intensiver Wärmereiz in meinen Hautnerven Erregungen hervor, die zu meinen Muskeln hingeleitet werden und eine Bewegung derselben auslösen, so daß etwa ein Zurückziehen der einen heißen Gegenstand berührenden Hand erfolgt.

Die Erregung kommt ebenso wie die Reaktion durch Auslösung von Energie zustande, die in der lebenden Substanz in chemischer Form aufgespeichert ist. Ein Analogon mag die Verhältnisse verdeutlichen. Ein brennendes Streichholz setzt eine Zündschnur in Brand, das Feuer pflanzt sich längs derselben fort und ruft schließlich in einer Pulvermenge eine Explosion hervor, die starke Wirkungen ausübt. Die Flamme des Zündholzes entspricht dem äußeren Reiz. Das Abbrennen der Zündschnur entspricht einer in der lebenden Substanz, etwa im Nerven, sich fortpflanzenden Erregung. Dieses Brennen ist durch das Zündholz nur eingeleitet, nur „ausgelöst"; die dabei zutage tretende Energie stammt aus der chemischen Energie der Zündschnursubstanz. Die Pulverexplosion entspricht der Muskelzuckung, zu der die nervöse Erregung führen mag, allgemein gesprochen: sie entspricht der Reaktion. Die Explosion ist durch den Brand der Zündschnur nur eingeleitet oder „ausgelöst"; denn die Explosionsenergie stammt aus der chemischen Energie der Pulvermenge, wie die Reaktionsenergie aus der chemischen Energie des reagierenden Plasmas hervorgeht.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die Entstehung von Erregungen, die Fortleitung derselben und die Auslösung von Reaktionen mit Vorgängen in

der toten Natur sehr wohl verglichen werden können. Immerhin zeigen sich auch hier bei genauerem Zusehen Besonderheiten jener organischen Auslösungsvorgänge. Man braucht nur zu bedenken, daß die Zündschnur beim Abbrennen zerstört wird, während der Nerv durch die Erregung, welche in ihm entsteht und fortgeleitet wird, normalerweise durchaus nicht geschädigt wird.

Vor allem aber ist es noch bemerkenswert, daß Erregungen der lebenden Substanz sich in einer weiteren Art und Weise offenbaren können; sie können zu seelischen Erscheinungen führen. Wenn ein Lichtreiz mein Auge trifft und in der Netzhaut eine Erregung hervorruft, die sich durch den Sehnerv bis zu einer bestimmten Stelle meines Gehirns, der sogenannten Sehsphäre, fortpflanzt, so erlebe ich eine Lichtempfindung, einen unkörperlichen, aber wirklichen Vorgang. Die Beseelung.

Bei uns selbst finden wir also außer den körperlichen seelische Lebensäußerungen vor. Es drängt sich nun die Frage auf, inwieweit auch bei anderen Lebewesen außer den körperlichen Vorgängen seelische vorhanden sind. Es läßt sich nicht wohl bezweifeln, daß höheren Säugetieren, Affen, Pferden, Hunden usw., ein Seelenleben zuzusprechen ist. Ob ein solches aber auch den niederen Tieren, z. B. den Schwämmen, und den Pflanzen zugeschrieben werden darf, kann recht fraglich erscheinen. Unsere bewußten seelischen Regungen scheinen an einen bestimmten Teil unseres Gehirns, an die Großhirnrinde, gebunden zu sein. Wenn wir nun bei höheren Wirbeltieren eine aus Nervenzellen aufgebaute Großhirnrinde finden, so bestehen in dieser Hinsicht keine weiteren Bedenken gegen die Annahme, daß sie seelisches Leben besitzen. Bei anderen Tieren aber finden wir keine solche Großhirnrinde, bei manchen Tieren und bei den Pflanzen überhaupt kein dem Gehirn entsprechendes Organ, ja nicht einmal ein Nervensystem. Da scheint es doch sehr bedenklich, solchen Lebewesen seelische Regsamkeit zuzusprechen. Indessen wissen wir durchaus nicht, ob alles Seelische im Menschen an die Großhirnrinde gebunden ist. Außer den seelischen Vorgängen, die sich in unserem Bewußtsein abspielen, nehmen viele Psychologen noch andere seelische Realitäten in uns an, die man als unbewußt zu bezeichnen pflegt. Es ist mehrfach vermutet worden, daß unbewußte seelische Vorgänge in uns nicht unmittelbar mit den Funktionen unserer Großhirnrinde, sondern mit denjenigen anderer Organe unseres Körpers zusammenhängen. Wir wissen also keineswegs, daß Seelisches nur dort sich finden kann, wo eine Großhirnrinde oder überhaupt ein Gehirn oder doch ein Nervensystem vorhanden ist.

Es gibt aber mehrere positive Gründe, die für eine weite, ja allgemeine Verbreitung des Seelischen in der Welt der Lebewesen sprechen. Gehen wir aus von der Betrachtung der Großhirnrinde, des Organs unseres bewußten seelischen Lebens, so ist zu bedenken, daß dies Organ in der Entwicklung des Individuums (in der „Ontogenese“) aus Zellen hervorgeht, die noch gar nicht den besonderen Charakter von Großhirnrindenzellen, überhaupt von Nervenzellen haben. Schließlich stammen die Zellen unserer Großhirnrinde wie alle Zellen unseres Körpers von einer und derselben Zelle ab, von der befruchteten Eizelle. Durch

Teilung gehen aus dieser alle Zellen unseres Organismus hervor, auch die nervösen Zellen unserer Großhirnrinde. Wenn nun mit Funktionen der letzteren seelische Vorgänge verbunden sind, so sollte man meinen, auch ihre nicht-nervösen Stammzellen — zuletzt also die Eizelle — müßten schon den Ansatz zum Seelischen in sich getragen haben. Diese Überlegung spricht gegen die Auffassung, daß Seelisches nur dort angenommen werden dürfe, wo eine Großhirnrinde oder doch wenigstens Nervenzellen vorhanden sind.

Wenn wir die deszendenztheoretische Annahme heranziehen, daß die höheren, zweifellos beseelten Tiere von niederen Lebewesen ohne Großhirnrinde, überhaupt ohne Nervensystem, abstammen, ja daß gar alle Lebewesen, Pflanzen und Tiere, auf gemeinsame Urorganismen zurückgehen, so kommen wir zu entsprechenden Ergebnissen. Falls gewisse, wenngleich äußerst primitive Ansätze zu seelischem Leben nicht bereits bei jenen nervenlosen Urorganismen da waren, ist es schwer zu verstehen, wie das Seelische, das doch dem Körperlichen gegenüber etwas ganz Neues ist, auf einer gewissen Entwicklungsstufe des tierischen Lebens plötzlich auftreten konnte. Soweit unsere Erfahrung reicht, haben beseelte Wesen immer beseelte Vorfahren. Wenn gar alle Lebewesen von gleichen oder doch sehr nahe verwandten Urformen abstammen — was allerdings keineswegs ausgemacht ist —, so liegt der Gedanke ganz nahe, daß sie auch allesamt beseelt sind.

Auch abgesehen von Abstammungshypothesen spricht die Kontinuität in der organischen Welt für die Annahme, daß die Lebewesen allesamt beseelt sind. Ein einzelliges Tier und eine Pflanze sind allerdings in ihrem Bau und ihrem Verhalten vom Menschen und den zweifellos beseelten höheren Tieren außerordentlich verschieden; aber die Kluft wird überbrückt durch eine große Zahl von Zwischenformen, die schließlich das höhere Säugetier mit dem einzelligen Tier und dieses mit der einzelligen und dann weiterhin mit der vielzelligen, höheren Pflanze verbinden. Es erscheint bedenklich, in diesem fast kontinuierlichen Zusammenhang von Lebensformen eine Schnittlinie anzunehmen, die beseelte von unbeseelten Organismen trennt.

Analogieschlüsse als Stützen der Annahme, daß alle Lebewesen beseelt sind.

Schließlich können wir die Annahme, daß das Seelische in der lebenden Natur allgemein verbreitet ist, auf direkterem Wege stützen. Was veranlaßt uns denn, einem Tier seelische Vorgänge zuzuschreiben? Direkt wahrnehmen kann jeder Mensch nur Vorgänge in seiner eigenen Seele. Fremdes Seelenleben ist, logisch gesprochen, nur durch Analogieschlüsse festzustellen. Wenn wir den Haussäugetieren seelische Vorgänge auch im täglichen Leben unbedenklich zusprechen, so geschieht dies, weil sie als physische Wesen Ähnlichkeiten mit dem beseelten Menschen aufweisen; wir stützen uns zunächst nicht auf das Vorhandensein einer Großhirnride oder eines Nervensystems bei diesen Tieren, sondern auf die Beobachtung ihres Verhaltens und ihrer Sinnesorgane. Der Hund heult, wenn er sich verletzt; also wird er den seelischen Inhalt des Schmerzes erleben. Er hat Augen und Ohren; also wird er Gesichts- und Gehörsempfindungen haben.

Nun finden wir Sinnesorgane nicht nur bei höheren, etwa mit einer nervösen

Großhirnrinde ausgestatteten Tieren, sondern auch bei niederen Tieren und Pflanzen. Selbst bei einzelligen Wesen gibt es Bildungen, die Sinnesorganen entsprechen. Auch ist schließlich alle lebende Substanz befähigt, Reize aufzunehmen, also das zu leisten, was die eigentliche Funktion der Sinnesorgane ausmacht. Was das Fehlen von Nerven bei pflanzlichen und manchen tierischen Lebewesen anbetrifft, ist zu bedenken, daß die Grundfunktion der Nervensubstanz, die Fortleitung von Erregungen, auch von nicht-nervösem, z. B. pflanzlichem Plasma geleistet wird. Es ist besonders bemerkenswert, daß Gesetze, welche Reizwirkungen beim Menschen oder jedenfalls Reizeffekte, die von nervöser Substanz vermittelt sind, betreffen, auch für Reizwirkungen an nicht-nervösem, z. B. pflanzlichem Plasma sich bestätigen ließen (Webersches, Talbotsches, Fröschelsches [Hyperbel-] Gesetz, Reizsummation, Narkose usw.). Man hat durchaus den Eindruck, daß die Nervensubstanz nicht etwas prinzipiell Andersartiges bedeutet und leistet als nicht-nervöses Plasma, sondern daß sie nur gewisse Fähigkeiten des letzteren in stark gesteigertem Maße aufweist.

Auch im „Verhalten", im ganzen Tun und Lassen, zeigen sich übereinstimmende Züge in der ganzen organischen Natur. Weil sich ein Affe in vieler Hinsicht ähnlich verhält wie ein Mensch, schreiben wir ihm seelische Regsamkeit zu. Die Ähnlichkeiten des Verhaltens von Pflanzen und niederen Tieren mit dem Tun zweifellos beseelter Wesen fallen nicht so sehr ins Auge. Immerhin meint einer der besten Kenner des Verhaltens einzelliger, einfacher Organismen, Jennings, daß man z. B. den einzelligen Amöben Lust, Schmerz, Begehren usw. zusprechen würde, wenn diese Lebewesen so groß wären, daß man sie und ihr Treiben alltäglich sähe, etwa wie man die Haustiere und ihr Verhalten beobachtet.

Manche Forscher sind der Ansicht, daß nur denjenigen Organismen, deren Verhalten Gedächtnis verrät, ein seelisches Leben zugeschrieben werden dürfe. Das Gedächtnis. Demgegenüber wäre zunächst zu fragen, ob denn seelisches Leben ohne Gedächtnis schlechthin unmöglich sei. Aber auch wenn man diese unbewiesene Auffassung annimmt, kann man der Ansicht bleiben, daß alle Lebewesen beseelt sind. Die Lehre, daß jede lebende Substanz zu gedächtnismäßigem Behalten von Reiznachwirkungen befähigt sei, die sogenannte Mnemelehre (Butler, Hering, Semon u. a.), hat manches für sich. Bei vielen Tieren, deren Gedächtnis bis in die jüngste Zeit entschieden geleugnet wurde, konnte dasselbe durch Versuche einwandfrei nachgewiesen werden. Einige Beobachtungen und Experimente sprechen dafür, daß auch Pflanzen und Einzelligen Gedächtnis zukommt. Das Experiment wird vielleicht der Mnemelehre weitere starke Stützen verschaffen.

Die Auffassung, daß alle lebende Substanz beseelt sei, darf also keinesfalls als phantastisch abgelehnt werden; es gibt viele Gründe zu ihren Gunsten, aber kein einziges unerschütterliches Gegenargument. Wahrscheinlich wird auch in bezug auf Beseelung sich alle lebende Substanz im Prinzip einheitlich verhalten, wie sie auch im übrigen überall im wesentlichen die gleichen Grundeigenschaften aufweist.

Wenn aber allen Lebewesen Beseelung zugeschrieben wird, liegt der weitere Gedanke nahe, daß vielleicht gerade in ihr das grundlegende Unterscheidungs-

merkmal des Lebendigen gegenüber dem Unbelebten zu sehen sei. Man kann geradezu das Wesen des Lebens in der Beseelung suchen, wie es der Psychovitalismus tut. Wir kommen darauf weiter unten zurück. Hier ist auf die bereits mehrfach berührte alte metaphysische Lehre hinzuweisen, daß auch hinter den Erscheinungen der toten Natur, z. B. der Anziehung und Abstoßung elektrischer Ladungen, seelische Regungen sich verbergen. Wenn man allen Lebewesen Seelisches zuschreibt, braucht man also darin doch kein Unterscheidungsmerkmal gegenüber dem Unbelebten zu erblicken. Immerhin könnten gewisse besondere Ausprägungen des Seelischen die belebten Wesen vor den toten Dingen auszeichnen. Die Vermutung liegt nicht fern, daß das Gedächtnis ein Merkmal der Organismen bzw. ihrer Beseelung darstellt, welches erstere von den unbelebten Gegenständen unterscheidet. Doch das sind unsichere Möglichkeiten.

Wenn wir nun alle die mehr oder weniger charakteristischen Besonderheiten der lebenden Natur, die Formen und Strukturen der Organismen, die Beschaffenheit des Plasmas, die Vorgänge des Stoffwechsels, des Wachstums, der Fortpflanzung und Vererbung und der Regeneration, die Fähigkeiten zu aktiver Bewegung, zur Reizaufnahme und zu seelischen Regungen überblicken, so ergibt sich ein weiterer, für die Charakterisierung der organischen Natur überaus wichtiger Gesichtspunkt. Es tritt uns überall die Zweckmäßigkeit des Lebendigen entgegen. Sie zeigt sich immer wieder in der Form und der Struktur der Lebewesen, z. B. in der Gestalt der Wassertiere unter den Säugern, etwa des Walfisches, im kunstvollen, wenn auch nicht schlechthin fehlerfreien Bau des menschlichen Auges. Sie offenbart sich im Stoffwechsel und seinen komplizierten Regulierungen, die dazu dienen, Erhaltung und Wachstum der Lebewesen zu ermöglichen. Wenn Regeneration und Wachstum als zweckmäßige Funktionen zur Erhaltung und Ausdehnung des individuellen Lebens erscheinen, so dienen Fortpflanzung und Vererbung dem Zwecke der Erhaltung des Lebens und seiner verschiedenen Ausprägungen über den Untergang der Individuen hinaus. Die Bewegungsfähigkeit ermöglicht den Lebewesen die Erreichung der Nahrung, überhaupt der günstigen oder notwendigen Lebensbedingungen, und die Vermeidung von Gefahren, die Rettung aus schlimmen Lagen usw. Die Aufnahmefähigkeit für Reize, z. B. für Gerüche, läßt die Tiere ihre Beute finden, ihre Feinde meiden u. dgl.; die Reizbarkeit für Licht führt diejenigen Pflanzenteile zu ihm hin, die seiner bedürfen. Die seelischen Anlagen dienen in zweckmäßiger Weise der Erhaltung und Verbreitung des Lebens, indem z. B. unlustvolle Gefühle das Fressen schädlicher Stoffe oder zu großer Nahrungsmengen verhindern, indem gefühls- und triebartige seelische Regungen die Geschlechter zusammenführen; das Gedächtnis ermöglicht die zweckmäßige Berücksichtigung der früheren Erlebnisse, der guten und bösen Erfahrungen; so lernt z. B. ein Hühnchen, das Picken nach widerlich schmeckenden Insekten zu unterlassen.

Die Zweckmäßigkeit.

Zweckmäßigkeiten der Form und der Struktur sowie der Funktion gibt es auch bei toten Dingen, z. B. bei Maschinen, und diesen sind darum auch die Lebewesen vielfach verglichen worden. Immerhin bestehen bedeutsame Unterschiede. Die Zweckmäßigkeit der Maschine geht auf den menschlichen Erbauer

zurück und dient in erster Linie diesem, während die Zweckmäßigkeit eines Lebewesens in erster Linie ihm selbst und der Erhaltung und Verbreitung seiner Art dient. Doch ist dies weniger durchschlagend; denn es gibt auch zweckmäßige Einrichtungen an Maschinen, die direkt der Erhaltung der Maschinen selbst dienen, wie z. B. das Sicherheitsventil einer Dampfmaschine, welches die Explosion des Kessels verhindert. Wesentlicher ist der folgende Unterschied: Das Lebewesen mit seiner Zweckmäßigkeit entsteht selbständig aus den Anlagen einer Eizelle; die Maschine aber entwickelt sich nicht aus einem Keime kraft der inneren Fähigkeiten desselben, sondern sie wird von einem Erbauer, dem Menschen, zusammengesetzt. Diese Fähigkeit des Lebendigen, aus eigener Kraft sich zu entwickeln und zweckmäßig zu gestalten, tritt auch in der Regeneration zerstörter Teile zutage. Ein Wurm kann den abgebissenen Kopf neubilden; aber keine Maschine vermag selbständig ein abgerissenes Rad am rechten Orte neu hervorzubringen. Die selbständige Entwicklung und Neubildung des Zweckmäßigen ist charakteristisch für die lebende Natur. Daraus ergibt sich bereits, daß eine eingehendere Betrachtung der organischen Zweckmäßigkeit die Entstehung des Zweckmäßigen notwendig berücksichtigen muß. Darum fragen wir erst nach der Entstehung der Organismen, ehe wir auf das Teleologieproblem, auf die Zweckmäßigkeitsfrage, genauer eingehen.

Die selbständige Entstehung des organischen Zweckmäßigen.

Übrigens darf man nicht meinen, daß alle Einrichtungen und Funktionen in der organischen Welt die vollkommenste Zweckmäßigkeit aufweisen. Neben dem Zweckmäßigen gibt es Zweckloses und direkt Zweckwidriges in der Welt der Organismen. Zweckwidrig erscheint es z. B., wenn zum Stoßen dienende Hörner oder Zähne so stark gekrümmt wachsen, daß die Spitze beim Stoß nicht mehr leicht oder überhaupt nicht mehr auftreffen kann. Zweckwidrig oder zwecklos erscheinen manche „rudimentären", nur verkümmert und funktionsunfähig ausgebildeten Organe, wie etwa der Wurmfortsatz unseres Blinddarmes, der vielen Menschen so verhängnisvoll wird als Ausgangspunkt gefährlicher Entzündungskrankheiten. Helmholtz hat auf erhebliche Unvollkommenheiten des menschlichen Auges hingewiesen, das doch zunächst als ein Muster organischer Zweckmäßigkeit erscheint. Übrigens ist es oft sehr schwer zu entscheiden, ob irgendetwas in der lebenden Welt zweckmäßig, zwecklos oder gar zweckwidrig ist, und in der Tat sind nicht selten die Meinungen der Forscher in dieser Hinsicht geteilt; während die einen überall mit Bestimmtheit Zweckmäßigkeit sehen wollen, sind andere außerordentlich zurückhaltend mit der Anerkennung derselben. Doch drängt sich die Zweckmäßigkeit in der lebenden Natur dem unbefangenen, nicht durch seltsame, aber verbreitete wissenschaftliche Vorurteile beeinflußten Beobachter überaus häufig auf. Andererseits kann das Vorkommen von Zwecklosem und Zweckwidrigem nicht geleugnet werden, wie schon die offenbaren Mißbildungen beweisen. Darum ist mit der Lehre von der Zweckmäßigkeit, mit der Teleologie, eine Lehre vom Unzweckmäßigen, eine Dysteleologie (Haeckel) zu verbinden.

Zweckloses und Zweckwidriges in der lebenden Natur. Dysteleologie.

Einteilung der Lebewesen. Die charakteristischen Merkmale des Lebendigen, mit denen wir uns soeben beschäftigt haben, verbinden die Orga-

nismen zu einer großen, zusammenhängenden Klasse von Naturkörpern. Die lebendige Substanz zeigt überall gleiche Grundeigenschaften und -fähigkeiten, wie Stoffwechsel, Reizbarkeit, Beweglichkeit usw. Trotz dieser Einheitlichkeit im ganzen, umfassenden Reiche des Lebens zerfällt dasselbe infolge der Verschiedenheit der Organismen in eine große Zahl von Gruppen. Deren Aufstellung und Anordnung ist Aufgabe der biologischen Systematik.

Die biologische Systematik. Künstliche und natürliche Systeme.

Überall, wo eine Wissenschaft einer größeren Mannigfaltigkeit von zusammengehörigen Objekten Herr werden will, kommt der Systematik die wichtige Aufgabe zu, die Fülle des Materials durch Ordnung übersichtlich zu machen. Das ist eine Arbeit, die bereits auf einer frühen Entwicklungsstufe der Wissenschaft notwendig wird. Der ordnende Forscher wird sich dabei zunächst an einzelne, besonders leicht feststellbare Merkmale halten und mit Rücksicht auf diese sein System aufbauen. So verfuhr Linné bei der Aufstellung seines Pflanzensystems, indem er Zahl und Anordnung der Fortpflanzungsorgane (Staubgefäße, Stempel usw.) seiner Gruppierung zugrunde legte.

Derartige, nach augenfälligen, aber eng begrenzten Gesichtspunkten aufgebaute Systeme bezeichnet man als künstliche. Darin liegt zugleich eine Wertung; die künstlichen Systeme haben, obwohl sie der Wissenschaft, insbesondere der jungen, bedeutende Dienste leisten konnten, sehr erhebliche Nachteile. Wenn man für die Einteilung der Lebewesen nur einzelne, wenngleich augenfällige Merkmale benutzt, so bringt man leicht Lebewesen im System nahe zusammen, die sich zwar in bezug auf diese Merkmale nahestehen, die aber im übrigen ungemein verschieden sein können; und umgekehrt kommen in einem künstlichen System leicht Lebewesen weit voneinander zu stehen, die im ganzen eng zusammengehören, aber zufällig in bezug auf die zur Einteilung benutzten Einzelmerkmale stärker sich unterscheiden. Je vollständiger man nun die Merkmale der Lebewesen kennen lernt, um so unnatürlicher erscheinen Systeme, die nur auf einzelnen, auffälligen Merkmalen fußen. Man wird daher zu dem Versuch gedrängt, ein „natürliches" System an die Stelle der „künstlichen" zu setzen, eine Anordnung der Lebewesen aufzustellen, die auf der Berücksichtigung aller Merkmale der Organismen, auch der Jugendstadien derselben, beruht. Im natürlichen System kommt zusammen, was sich in bezug auf das Ganze der Organisation gleicht. Freilich ist immer nur eine Annäherung an ein vollkommenes natürliches System möglich, weil wir niemals alle Merkmale der Lebewesen kennen und berücksichtigen können. Je genauer und tiefer aber die Kenntnis der Organismen wird, um so vollkommener kann die natürliche Systematik ausgestaltet werden. Im natürlichen System kristallisiert sich eine Fülle von Detailkenntnissen, sodaß der Kundige Vieles und Wichtiges aus dem System wiederum ablesen kann.

Die Systematik der Organismen operiert mit einer Anzahl von Begriffen wie Art, Gattung, Familie, Ordnung, Klasse, Stamm oder Abteilung, Reich. Diese haben folgende Bedeutung. Einzelwesen, die in sehr zahlreichen Merkmalen übereinstimmen, faßt man als eine Art zusammen, stellt man unter einen Artbegriff; ein Beispiel eines solchen bietet der Begriff Hauskatze. (Gegenwärtig

mögen etwa 200000 Pflanzenarten und 400000 Tierarten auf der Erde sich finden.) In zahlreichen Merkmalen übereinstimmende Arten faßt man wieder als eine Gattung zusammen. Gattungen, die in vielen Merkmalen übereinstimmen, werden zu einer Familie vereinigt; die katzenartigen Raubtiere, wie Hauskatze, Wildkatze, Tiger, Löwe usw., bilden eine Familie. Mehrere Familien werden zu einer Ordnung, mehrere Ordnungen zu einer Klasse zusammengefaßt; die Säugetiere bilden z. B. eine Klasse. Mehrere Klassen verbindet man zu einem Stamm, die Säugetiere, Vögel, Reptilien, Amphibien, Fische z. B. zum Stamm der Wirbeltiere. Stämme endlich werden auf Grund übereinstimmender Merkmale zu Reichen (Tierreich, Pflanzenreich) zusammengefaßt. Im einzelnen ist es traditionell und oftmals strittig, wie weit man eine Art, Gattung usw. ausdehnt, obgleich es dafür mancherlei Anhaltspunkte gibt.

Unterscheidung von Tieren und Pflanzen.

Bei den umfassenderen Gruppen, insbesondere bei den größten, bei den Reichen, könnte man zunächst die Abgrenzung für ganz leicht halten. Wir unterscheiden ein Tier- und ein Pflanzenreich, und auch der Nichtfachmann ist im täglichen Leben ohne weiteres imstande, Tiere und Pflanzen zu unterscheiden. Bei der Durchführung dieser Sonderung aber stößt der Naturforscher auf große Schwierigkeiten. Es gibt kein einziges Merkmal, das allen Tieren zukäme und allen Pflanzen fehlte, oder umgekehrt sich bei allen Pflanzen, aber nie bei Tieren fände. Die meisten Pflanzen besitzen keine freie selbständige Beweglichkeit; aber es gibt pflanzliche Lebewesen, denen diese Fähigkeit ebenso zukommt wie Tieren. Am ehesten charakteristisch ist für die Pflanze im Unterschied zum Tier noch ihr Stoffwechsel, ihre Ernährungsweise. Die Pflanzen vermögen aus Kohlensäure, anorganischen Salzen usw. organische Verbindungen aufzubauen, wozu die Tiere nicht imstande sind. Darum sind die Tiere in ihrer Ernährung direkt oder indirekt auf die Pflanzen angewiesen; sie fressen Pflanzen oder andere Tiere, die ihrerseits ihre Nahrung direkt oder indirekt der Pflanzenwelt verdanken. Aber auch dies Unterscheidungsmerkmal von Tier und Pflanze läßt uns zuweilen im Stich; es gibt pflanzliche Organismen, die sich auf Kosten anderer Lebewesen ernähren, ähnlich wie die Tiere, denen sie doch wegen ihres ganzen Baues unmöglich zugerechnet werden können. Andererseits vermögen nach v. Linden manche Tiere (Raupen) wie die Pflanzen Kohlensäure zu assimilieren; dies ist allerdings strittig. Die Pflanzen können feste Nahrungsmittel nur in gelöster Form durch die Körperoberfläche einsaugen, während Tiere Nahrung im festen Zustande in innere Hohlräume des Körpers aufnehmen und dort verdauen können; jedoch auch dies Unterscheidungsmerkmal versagt manchmal. Und doch käme der Unterschied in der Ernährungsweise noch in erster Linie in Betracht. Die anderen auffälligen Unterschiede zwischen Pflanze und Tier führen auf jenen vielfach zurück. Die starke Entfaltung äußerer Flächen an Blättern und Wurzeln der Pflanze hängt z. B. damit zusammen, daß letztere ihre Nahrung an oder nahe der Körperoberfläche in gasförmigem und flüssigem Zustande aufnimmt.

Bei einzelligen Wesen kann die Untersuchung des Baues oft durchaus nicht entscheiden, ob es sich um Tiere oder Pflanzen handelt. Wenn dann auch die

Ernährungsweise als Unterscheidungsmerkmal versagt, so ist die Sonderung nicht wohl möglich. Bei den einzelligen Geißeltierchen oder Flagellaten finden wir sowohl tierische wie pflanzliche Lebensweise; darum wird diese Gruppe von Lebewesen von Zoologen wie von Botanikern als zu ihrem Arbeitsgebiet gehörig betrachtet. Schließlich zeigen solche Abgrenzungsschwierigkeiten wiederum, daß die ganze lebende Natur einheitlich zusammenhängt, daß sie ein großes Gesamtreich bildet.

Wenn die Einteilung der einzelligen Lebewesen in Tiere und Pflanzen (in Protozoen und Protophyten) Schwierigkeiten macht, liegt es nahe, sie aufzugeben und alle Einzelligen zu einer gemeinsamen Gruppe zusammenzufassen. Die Einzelligen oder „Zellinge“ (Protisten; Haeckel) wären den Vielzelligen oder „Webingen“ (Histonen) gegenüberzustellen, die ihrerseits in vielzellige Tiere und vielzellige Pflanzen (Metazoen und Metaphyten) zerfallen. Doch tragen andererseits viele Einzellige so ausgesprochen tierischen oder pflanzlichen Charakter, daß man auch bei den Protisten nicht darauf verzichten wird, Tiere und Pflanzen zu unterscheiden, wenngleich dies zuweilen Schwierigkeiten macht. Auch ist es nicht wohl möglich, einzellige und vielzellige Pflanzen reinlich zu sondern; bei den Tieren fehlen die vermittelnden Formen, so daß bei ihnen Einzellige und Vielzellige leichter geschieden werden können.

Auf ein genaueres Eingehen auf die Systematik der Organismen dürfen wir hier verzichten.

Ähnlichkeit zwischen Lebewesen und Gruppen von solchen als Hinweis auf gemeinsame Abstammung.

Die Abstammungslehre. Die ältere Naturforschung nahm an, daß die Arten, Gattungen, Familien usw. der Lebewesen seit ihrer Erschaffung unverändert bestehen; sie wären also untereinander wohl in geringerem oder höherem Grade ähnlich, aber sie wären nicht im eigentlichen Wortsinne miteinander verwandt. Wenn man jedoch berücksichtigt, daß die Ähnlichkeit zwischen Lebewesen vielfach ohne Frage auf Verwandtschaft, auf gemeinsamer Abstammung beruht, so liegt eine andere Auffassung ziemlich nahe. Wenn sich Hauskatze und Wildkatze so ähnlich sind, daß sie im natürlichen System nahe zusammengehören, so könnte dies auf Verwandtschaft, auf gemeinsamer Abstammung beruhen. Hauskatze und Wolf sind sich zwar weniger ähnlich; aber auch zwischen ihnen besteht noch recht viel Übereinstimmendes, so daß man vermuten kann, daß auch sie noch verwandt sind, nur eben weitläufiger als Hauskatze und Wildkatze. So würde das natürliche System der Organismen eine neue Bedeutung gewinnen: Was sich in demselben mehr oder weniger nahesteht, ist vielfach näher oder weitläufiger miteinander verwandt. Brüder sind meist ähnlicher als Vettern und diese wiederum ähnlicher als entferntere Verwandte.

Derartige Gedanken finden nun in anderen Erfahrungen sofort weitere Stützen. In erster Linie kommt in Betracht, daß man in manchen Fällen direkt weiß, daß sehr ähnliche Tier- bzw. Pflanzenformen, sogenannte Spielarten oder Varietäten, auch sogenannte Mutationen, verwandtschaftlich untereinander zusammenhängen. Die Tier- und Pflanzenzüchter bringen zahlreiche neue Spielarten in den Handel. Solche neuen Tier- oder Pflanzenformen schlagen vielfach

auf die Stammformen zurück und bereichern daher die lebende Natur nicht dauernd; doch gibt es auch Fälle, in denen kein Rückschlag erfolgt. Diese Beobachtungen drängen den Gedanken auf, daß auch in der freien Natur neue Formen entstehen können, daß Tier- und Pflanzenarten, die gegenwärtig die Erde bewohnen, nicht immer auf ihr sich fanden, sondern aus anderen Arten entstanden sind. Wie nun eng verwandte Spielarten einander recht ähnlich sind, so mag auch die Ähnlichkeit von Arten auf ihre Verwandtschaft, auf gemeinsame Abstammung hindeuten.

Von solchen Gesichtspunkten aus wird es leicht verständlich, warum die Abgrenzung der Gruppen dem Systematiker oft große Schwierigkeiten macht. Die Gruppen hängen eben verwandtschaftlich untereinander zusammen; da kann es leicht alle möglichen Übergänge größerer und geringerer Verwandtschaft und Ähnlichkeit geben, sodaß man nicht wohl sagen kann, wo die eine Gruppe anfängt und die andere aufhört. So kommt es, daß der eine Forscher Lebewesen in mehrere Arten sondert, die der andere zu einer Art zusammenfaßt, indem er etwa die Arten des Fachgenossen für bloße Unterarten erklärt. Und bei den Unterarten ergeben sich entsprechende Verlegenheiten; man weiß oft nicht, ob man zwei wenig voneiander abweichende Formen schon als Unterarten (Rassen) oder nur als Spielarten (Varietäten) bezeichnen soll; man denke an Hunde, Pferde, Kartoffeln u. dgl. Wenn nun Spielarten neu entstehen können, und wenn ihre Ähnlichkeit auf Verwandtschaft beruht, so wird man bei Unterarten, Arten usw. zu der gleichen Auffassung gedrängt, weil zwischen Spielarten, Unterarten und Arten so schwer die Grenzen zu ziehen sind.

Der älteren Lehre von der Unveränderlichkeit der Arten, einer Lehre, als deren klassischen Vertreter wir etwa Linné, den großen Systematiker, anführen können, tritt also die Lehre von der Umbildung oder Abstammung der Arten, die Transmutations- oder Deszendenztheorie, gegenüber. Sie wurde von Charles Darwin (1859) siegreich durchgeführt; der Grundgedanke der Umbildungslehre taucht freilich schon in der ältesten griechischen Philosophie auf, und er hat in der Neuzeit vor Darwin mehrfach Vertreter gefunden, unter denen insbesondere Lamarck (1809) eine sehr hervorragende Stellung einnimmt.

Der Grundgedanke der Abstammungslehre und seine Verbindung mit der Entwicklungsidee und der Formspaltungsannahme.

Der Grundgedanke der Umbildungs- oder Abstammungslehre liegt in dem Satze, daß die gegenwärtigen Tier- und Pflanzenformen von anderen Formen abstammen. Die herrschende Deszendenztheorie verbindet damit aber noch andere Ansichten. Sie nimmt an, daß die Stammformen im großen und ganzen einfacher waren als die jetzt existierenden höheren Tiere und Pflanzen, ja daß die letzten Stammformen höchst einfache Wesen, primitive Protisten waren. Die Umbildung bedeutet zugleich im großen und ganzen eine Höherbildung, eine feinere Ausgestaltung der Organismen. Die herrschende Abstammungslehre kann also zugleich als Entwicklungslehre, als Evolutionismus bezeichnet werden. Übrigens ist bei der Umwandlung der Lebensformen der Aufstieg zwar vorherrschend, aber keineswegs allgemein; sind doch viele Organismen auf der Stufe primitiver Einzelliger stehen geblieben. Ja man kennt manche Lebewesen, die rückläufige, absteigende, vereinfachende Umwandlungen durchgemacht haben

dürften; es handelt sich vor allem um Schmarotzer, die im Laufe der Zeit viele einst ziemlich hoch entwickelte Organe verloren haben.

Mit dem Abstammungsgedanken wird also der Entwicklungsgedanke verbunden. Meist kommt aber als ein Drittes noch die Formspaltungsannahme hinzu. Wenn ursprünglich nur ganz einfache Lebewesen existiert haben, die aus einem Quantum lebendiger Substanz ohne besondere Form und Differenzierung bestanden, so konnten unter diesen primitiven Organismen nicht wohl sehr vielseitige Unterschiede bestehen; es konnte damals in der Welt des Lebendigen nicht jene Mannigfaltigkeit und Fülle von Gestaltungen existieren, die wir heute in der lebenden Natur vorfinden. So kommt man zu der Auffassung, daß die zahlreichen, vielgestaltigen Organismen der Jetztzeit von einigen wenigen, einförmigen Lebewesen der Vorzeit, vielleicht von einer einzigen primitiven Urform abstammen mögen. Mit der Umbildung und Entwicklung verband sich also eine Vermehrung der Formen, der Arten, Gattungen usw.; wir können von einer Formspaltung sprechen. Freilich gehen in bezug auf die Formspaltungsannahme die Ansichten weit auseinander. Während auf der einen Seite die extreme „monophyletische" Hypothese steht, nach welcher alle Lebewesen auf eine einzige Urform zurückgehen, wird auf der anderen Seite eine ausgesprochen „polyphyletische" Lehre vertreten, nach welcher zum wenigsten alle größeren Gruppen von Organismen auf verschiedene Urformen zurückgehen. Nach jener Lehre führt der Stammbaum aller Lebewesen auf eine einzige Wurzel zurück; nach dieser gibt es mehrere, vielleicht sogar viele gänzlich getrennte Stammbäume. Eine ganz extrem polyphyletische Lehre würde behaupten, daß alle Arten von Lebewesen auf verschiedene Urorganismen zurückgehen; wir hätten also eine Unzahl von getrennten Stammlinien. Immerhin liegt aus manchen Gründen eine solche Auffassung, nach welcher keine Verwandtschaft, keine Abstammungsgemeinschaft zwischen ähnlichen Arten bestände, recht fern. Die Annahme, daß Übereinstimmungen zwischen Organismen, auch zwischen Arten, Gattungen, Familien usw., auf Verwandtschaft, auf gemeinsame Abstammung zurückzuführen sind, hat von vorne herein viel für sich. Damit ist nicht gesagt, daß alle Ähnlichkeiten zwischen Organismen durch Verwandtschaft zu erklären sind; gleichartige Lebensverhältnisse mögen etwa bei wenig verwandten Lebewesen Ähnlichkeiten sich entwickeln lassen, die nicht auf gemeinsamer Abstammung beruhen. So finden wir Flügel bei Tiergruppen, die einander verwandtschaftlich zum Teil sehr fern stehen (z. B. bei Vögeln und Insekten).

Zugunsten der Lehre, daß alle Organismen eine und dieselbe Stammform haben, könnte man geltend machen, daß das Plasma in der ganzen lebenden Natur gleiche Grundeigenschaften, wie Reizbarkeit usw., zeigt. Der Stoffwechsel stimmt bei allen Organismen in wesentlichen Grundzügen überein, trotz der auffälligen Unterschiede, die Pflanzen, Tiere und Mikroben in dieser Hinsicht aufweisen; diese Unterschiede sind zum Teil bloß quantitative und können im Laufe der Entwicklung (als spezielle Anpassungen) entstanden sein. Auch mag man sich darauf berufen, daß das Tierreich und das Pflanzenreich sich in der

Welt der Einzelligen sozusagen nähern, so daß die Grenzlinie kaum überall zu verfolgen ist. Immerhin sind diese Gründe nicht zwingend.

Die palaeontologischen Gründe für die Abstammungslehre.

Wir wenden uns nunmehr weiteren wichtigen Argumenten für die Abstammungslehre zu. Die direkteste Begründung verspricht die Palaeontologie, die Wissenschaft von den Organismen, welche in ferner Vorzeit die Erde bewohnten. In der Erdrinde finden wir eine Anzahl von Gesteinschichten, die zu verschiedenen Zeiten entstanden sind und von der Geologie nach ihrem Alter geordnet werden. In diesen Schichten eingeschlossen finden sich Reste oder Abdrücke längst ausgestorbener Tiere und Pflanzen, die wir somit in der Reihenfolge anordnen können, in der sie auf der Erde aufgetreten sind. So erhalten wir aus den steinernen Urkunden gleichsam eine Geschichte der belebten Natur, die die Abstammungslehre bestätigen oder widerlegen könnte.

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß jene Urkunden sehr lückenhaft sind. Die meisten Organismen mußten im Laufe der Zeit durch Verwesung und Verwitterung spurlos verschwinden. Nur unter zufälligen günstigen Umständen konnten ihre abgestorbenen Körper vor diesem Schicksal bewahrt bleiben, etwa indem sie alsbald von niedersinkendem Schlamm bedeckt und von mineralischen Stoffen durchsetzt und versteinert wurden. Zumeist blieben von Tieren nur Skelette u. dgl. erhalten; weichere Teile und Lebewesen ohne Hartgebilde ließen naturgemäß viel seltener dauerhafte Reste und Spuren zurück. Überdies ist nur ein Bruchteil der Versteinerungen, welche die Erde bergen mag, der Forschung zugänglich geworden; die meisten Überreste sind noch nicht zutage gefördert, weil sie etwa unter den Meeren ruhen usw.

Wenn man diese Umstände berücksichtigt, wird man anerkennen müssen, daß die Versteinerungen eine starke Stütze der Abstammungs- und Entwicklungslehre liefern. Zunächst können wir manche Umwandlungen Schritt für Schritt verfolgen. Ein schönes Beispiel bietet die in steinernen Urkunden Stufe für Stufe niedergelegte Entwicklung des einhufigen Pferdefußes aus einem fünfzehigen Fuße der Stammform. Man muß allerdings bedenken, daß derartige Stufenreihen nicht einfach als Ahnenreihen betrachtet werden dürfen. (In der Stufenreihe des Pferdefußes gehört Hypohippus einer Seitenlinie an, die von Mesohippus sich abzweigt. Hypohippus ist also nicht in die Ahnenreihe des Pferdes zu stellen.) Gegenwärtig sind etwa zehn sichere Ahnenreihen festgelegt, die sich allerdings zum Teil nur über kurze Zeiträume erstrecken. Ein Beispiel einer längeren Ahnenreihe bietet die der (tertiären) Sirenen oder Seekühe. Daran, daß mehrfach nicht unbedeutende Umbildungen organischer Formen stattgefunden haben, kann also gar kein Zweifel sein.

Aber auch im großen und ganzen zeugt die Palaeontologie für eine fortschreitende Entwicklung. Fassen wir wiederum die versteinerte Tierwelt ins Auge, so ergibt sich in ihr deutlich ein Fortschritt vom Einfacheren zum Zusammengesetzteren und Höheren, wenn wir von den ältesten Formen zu den jüngeren und schließlich zu den jetzt lebenden übergehen. Von den Wirbeltieren z. B. treten zuerst Fische, dann Amphibien, dann Reptilien und zuletzt Vögel und Säugetiere auf.

Bedeutsam ist es dabei, daß unter den Versteinerungen sich Zwischenformen finden, wie z. B. der Archaeopteryx, der Reptil- und Vogelmerkmale vereinigt.

Freilich, die ältesten Tierformen, die in Versteinerungen erhalten sind, gehören keineswegs zu den allereinfachsten Lebewesen. Die uralten Trilobiten etwa stellen immerhin schon höher ausgebildete vielzellige Wesen dar, die zu den Krebsen gehören. Dieser Umstand spricht aber keineswegs dafür, daß die Urformen, von denen die Entwicklung ausgegangen ist, etwa zum Teil auf der Entwicklungshöhe dieser Krebse gestanden haben. Nichts spricht gegen die Annahme, daß die Trilobiten bereits eine sehr lange Entwicklungsgeschichte hinter sich haben, daß sie von einzelligen, zuletzt äußerst einfachen Lebewesen abstammen. Wenn uns Versteinerungen von solchen Vorfahren der Trilobiten nicht berichten, so ist das wohl zu verstehen. Die ältesten organischen Formen sind völlig durch den Zahn der Zeit vernichtet. Da sie wahrscheinlich weiche, noch nicht mit Skeletten ausgestattete Gebilde darstellten, werden sie an sich wenig geeignet gewesen sein, dauerhafte Versteinerungen zu liefern.

Die Untersuchung der pflanzlichen Versteinerungen stützt die Abstammungs- und Entwicklungslehre in ähnlicher Weise. Im ganzen tut die Palaeontologie wohl dar, daß bedeutende Umbildungen der Lebewesen im Laufe der Erdgeschichte stattgefunden haben, und daß sie vom Einfacheren zum Komplizierteren geführt haben. Die Versteinerungen können uns jedoch nicht zeigen, daß die Entwicklung mit ganz einfachen Urformen begonnen hat, und sie geben uns keine Entscheidung der Frage, ob eine oder mehrere Urformen anzunehmen sind. Manche Palaeontologen (Steinmann) sind entschiedene Gegner der üblichen, weitgehenden Formspaltungsannahmen der Zoologen.

Argumente für die Abstammungslehre aus der vergleichenden Betrachtung der gegenwärtig lebenden Organismen.

Diese stützen ihre deszendenztheoretischen Ansichten in erster Linie auf die vergleichende Betrachtung der gegenwärtig lebenden Tiere. In der Tat liefert auch die Untersuchung der augenblicklich die Erde bewohnenden Lebewesen starke Gründe für die Abstammungslehre. Zunächst versteht man auf Grund derselben die größere oder geringere Übereinstimmung zwischen den Organismen in zahllosen Fällen als eine Folge engerer oder weiterer Verwandtschaft. Wenn z. B. alle Wirbeltiere eine Wirbelsäule besitzen, so erklärt man dies daraus, daß sie alle von einer gemeinsamen Stammform abstammen, der sie dies gemeinsame Skelettgebilde verdanken.

Doch beweisen solche Übereinstimmungen innerhalb der Gruppen des natürlichen Systems zunächst eigentlich nicht viel, obgleich sie sich der Abstammungslehre gut einfügen. Bedeutsam ist das Vorkommen von Übergangsformen zwischen den systematischen Gruppen, von denen man oft nicht recht weiß, ob man sie der einen oder der anderen Gruppe einordnen soll. Diese Zwischenglieder werden leicht verständlich, wenn man die von ihnen verbundenen Gruppen durch gemeinsame Abstammung zusammenhängen läßt. Sie geben dann von dem Verwandtschaftszusammenhange der Gruppen Kunde, wie etwa ein Bruder, der zwei sich untereinander wenig gleichenden Brüdern gleicht, durch diese nach beiden Seiten vermittelnde Ähnlichkeit die Verwandtschaft der ungleichen Brüder bezeugt.

Von besonderem Interesse sind die Übereinstimmungen an „homologen" Organen, die verschiedenen Zwecken dienen und darum äußerlich oft ungemein verschieden sind. So sind z. B. die Vorderbeine der Säugetiere und die Flügel der Vögel homolog. Es handelt sich um ganz verschiedene Einrichtungen, und doch findet man bei aller auffälligen Verschiedenheit dieser Organe im Knochengerüst derselben viel Übereinstimmendes. Die Übereinstimmung muß überraschen, wenn man bedenkt, daß die Organe ganz verschiedenen Funktionen dienen; sie wird aber erklärlich, wenn man sie auf die gemeinsame Abstammung der Säugetiere und Vögel von älteren Wirbeltieren zurückführt, auf deren vordere Extremität sowohl das Vorderbein der Säugetiere wie der Flügel der Vögel zurückgeht.

Dem Argument aus dem Bau homologer Organe verwandt ist die Begründung der Abstammungslehre durch den Hinweis auf die rudimentären Organe. Als rudimentär bezeichnet man Organe, die am oder im Lebewesen wohl angelegt, aber nicht recht ausgebildet oder auch rückgebildet werden, so daß sie keine oder fast keine Funktion ausüben können. Diese verkümmerten Organe sind also für ihre Besitzer ohne Nutzen, während die entsprechenden (homologen) Organe bei nahestehenden Lebewesen wohl ausgebildet sind und bedeutsame Funktionen haben. Beispiele für rudimentäre Organe sind der Schulter- und der Beckengürtel am Skelett der Blindschleiche, die bei anderen Tieren die Ansatzstellen der Beine bieten, bei der beinlosen Blindschleiche aber diesem Zweck nicht dienen können; weitere Beispiele bieten die nichtbenutzten und zum Teil fast oder völlig unbrauchbaren Augen vieler im Dunkeln lebender Tiere, z. B. des finstere Höhlen bewohnenden Olms. Beim Menschen sind die Muskeln an der Ohrmuschel rudimentär; sie sind zwecklos und mehr oder weniger unfähig, die Ohrmuschel zu bewegen. Der Mensch besitzt ferner einen unter der Körperoberfläche verborgenen verkümmerten Schwanzstummel und andere rudimentäre Bildungen. Die Abstammungslehre gibt uns eine befriedigende Antwort auf die Frage, warum diese überflüssigen, verkümmerten Organe vorhanden sind: Sie sind Erbstücke, die von den Vorfahren herstammen, bei denen die betreffenden Organe wohlausgebildet waren und ihre Funktionen ausübten. Jene blinden Höhlentiere haben ihre verkümmerten Augen von am Licht lebenden, mit leistungsfähigen Sehorganen ausgestatteten Vorfahren ererbt. Die Ohrmuschelmuskeln und der Schwanzstummel des Menschen stammen von Ahnen, die jene Muskeln gebrauchen konnten und über einen richtigen Schwanz verfügten.

Ontogenetische Gründe für die Abstammungslehre.

Nun ist es sehr bemerkenswert, daß der Mensch während der Entwicklung im Mutterleibe (als „Embryo") eine Zeitlang einen richtigen, hervortretenden Schwanz besitzt. Hier erscheint also in der Entwicklung des Individuums am unfertigen Lebewesen ein Merkmal, welches in der Entwicklung der Art den Vorfahren auch im erwachsenen Zustande zukam. An manchen in Entwicklung begriffenen Lebewesen findet man Merkmale, die in entsprechender Weise im Sinne der Abstammungslehre zu deuten, ohne diese aber schwer zu verstehen sind. Die höheren Wirbeltiere und auch der Mensch besitzen als Embryonen

zeitweise Kiemenspalten, obgleich sie, wie der Mensch, niemals durch Kiemen atmen. Man versteht dies, wenn man annimmt, daß hier Erbstücke in der individuellen Entwicklung in Erscheinung treten, die einst den Vorfahren zukamen, welche niedriger stehende, im Wasser lebende, durch Kiemen atmende Wirbeltiere darstellten. Ein anderes Beispiel bieten die Bartenwale, die als Embryonen Zahnanlagen bilden, welche aber bereits vor der Geburt wieder zurückgebildet werden. Warum treten solche Bildungen in der Entwicklung des Individuums auf, um dann doch wieder zu verschwinden, zu verkümmern oder gänzlich umgebildet zu werden? Die Abstammungslehre kann hier zur Erklärung anführen, daß es sich um von den Vorfahren herstammende Erbstücke handelt, die vorübergehend in der Embryonalentwicklung in Erscheinung treten. Die Entwicklung des Einzelwesens wiederholt vieles von der langen Formenreihe, die die Vorfahren des Wesens in der ungeheuer langen Entwicklung der betreffenden Art von einer Urform aus durchlaufen haben. Haeckel (und vor ihm Fritz Müller) hat auf Grund dieser Tatsachen das biogenetische Grundgesetz aufgestellt, nach welchem die Entwicklung des Einzelwesens (die Ontogenie) eine abgekürzte Wiederholung der Entwicklung der betreffenden Art (der Phylogenie) darstellt. Dies Gesetz und insbesondere seine Tragweite sind übrigens strittig. Es ist nicht streng wörtlich zu nehmen, hat andererseits aber einen Halt in Tatsachen wie den oben angeführten, die jedenfalls bestehen bleiben und eine deszendenztheoretische Bedeutung behalten.

Wenn die jahrmillionenlange Umbildung, die zur Entstehung der gegenwärtig lebenden Arten führte, die Phylogenie, in der kurzen Keimesentwicklung der Einzelwesen, in der Ontogenie, wiederholt wird, so muß die erstere eine Umwandlung zum Komplizierteren, Höheren, eine Entwicklung, darstellen, wie die letztere eine Entwicklung repräsentiert. Und da die höheren Tiere und Pflanzen als Individuen aus einer Einzelzelle, der Eizelle, hervorgehen, müßten sie von einzelligen Wesen abstammen. Die auf der Betrachtung der Ontogenie fußenden Erwägungen führen hier weiter als die palaeontologischen Urkunden; allerdings sind erstere dafür hypothetisch und mancherlei Angriffen ausgesetzt. Übrigens greifen die palaeontologischen und die ontogenetischen Argumentationen ineinander und stützen sich gegenseitig. Manche Versteinerungen gleichen in gewissen Merkmalen den Embryonalstadien von gegenwärtig die Erde bewohnenden Lebewesen. Dies bestärkt in der Auffassung, daß Merkmale des Embryos einer Organismenart Eigenschaften längst ausgestorbener Stammformen der betreffenden Art wiederholen können.

Wir konnten nur einen Blick auf die Fülle von Tatsachen werfen, die bei der Diskussion der Abstammungslehre in Betracht kommen. Für eine eingehende Begründung wären noch weitere Gruppen biologischer Beobachtungen, z. B. die tier- und pflanzengeographischen, heranzuziehen.

Abstammung des Menschen.

Wer die Abstammungslehre anerkennt, wie es gegenwärtig die Naturforscher fast ausnahmslos tun, wird nicht wohl umhin können, sie auf den Menschen anzuwenden. Wir haben letzteren schon mehrfach bei den Beispielen herangezogen. Nach seiner körperlichen Beschaffenheit ist der Mensch den

Menschenaffen (Anthropoiden, Anthropomorphen), dem Schimpansen, Orang-Utan, Gorilla, (Hylobates?) zur Seite zu stellen; er würde zu den schmalnasigen Affen, den Catarrhinen, gehören, einer Gruppe (Familie) von Affen der Alten Welt, die sich durch eine schmale Nasenscheidewand und durch nach vorne bzw. unten, nicht seitwärts, gerichtete Nasenlöcher auszeichnen. Den anthropomorphen Schmalnasen, dem Schimpansen, Orang-Utan, Gorilla, fehlen wie dem Menschen bereits Schwanz, Backentaschen und Gesäßschwielen; alle Schmalnasen haben dieselbe Zahl und Verteilung der Zähne wie der Mensch. Eine unlängst entdeckte Blutreaktion zeigt, daß das Menschenblut demjenigen der Menschenaffen sehr nahesteht. Nach Friedenthal ist die an der Blutreaktion gemessene Verwandtschaft von Mensch und Makak erheblich kleiner als die der nahe verwandten Nagetiere Kaninchen und Meerschweinchen. Die Verwandtschaft von Mensch und Orang-Utan wäre nach jener Reaktion etwa so groß wie die von Orang-Utan und Makak. Mensch und Schimpanse gleichen sich nach Wiechowski auffällig durch relativ reichliche Harnsäureabscheidung. Ein von einem Affen (Makak) entnommener Knochen konnte von dem Chirurgen Küttner einem menschlichen Patienten eingepflanzt werden. Daß der Knochen sich „einlebte", hängt wohl mit der Blutsverwandtschaft von Mensch und Affe zusammen. Der Körper des Menschen unterscheidet sich von dem der Menschenaffen hauptsächlich durch das viel größere und besser durchgebildete Großhirn, dementsprechend durch die stärkere Ausbildung des Gehirnschädels gegenüber dem Gesichtsschädel, durch das schwächere Gebiß, in dem die Eckzähne nur wenig hervorragen, durch das Zurücktreten der Stirnwülste über den Augen, durch die verhältnismäßig kürzeren Arme, durch die Ausbildung des Fußes zum reinen Gehorgan, nicht zum Greiffuß, durch die dem aufrechten Gang mehr angepaßte Beinmuskulatur und Wirbelsäulenkrümmung, durch die schwache Behaarung u. dgl. Diese körperlichen Unterschiede zwischen Menschen und Menschenaffen sind nach Huxleys eingehender Prüfung geringer als die Unterschiede zwischen den letzteren und den niederen Affen.

Der Naturforscher wird daher dazu gedrängt, den Menschen ebenso von einfacheren Lebewesen abstammen zu lassen wie die Menschenaffen, und beide durch ihre Abstammung miteinander zusammenhängen zu lassen. Freilich ist die Frage nach dem Stammbaum des Menschen und nach seiner Verwandtschaft mit den Menschenaffen noch recht schwierig und strittig. Keinesfalls stammt der Mensch von den jetzt lebenden Menschenaffen ab. Die Menschen und die Menschenaffen repräsentieren divergierende Entwicklungsrichtungen. In mancher Hinsicht weist der Mensch primitivere Merkmale auf als viele Säugetiere; dies führt zu der Auffassung, daß die Vorfahren des Menschen schon früh eine gesonderte Entwicklungslinie eingeschlagen haben.

Es fehlt nicht an fossilen Resten von Menschen, die in manchen Merkmalen (niedrige, fliehende Stirn, starke Stirnwülste über den Augen u. a.) den Menschenaffen näher standen. Doch haben solche Funde von Skeletteilen primitiver ausgestorbener Menschenformen der Abstammungslehre nicht nur Stützen, sondern auch neue schwierige Probleme gebracht. Man pflegt gegenwärtig die Verwandt-

schaft des Menschen mit den Menschenaffen als eine weniger enge zu betrachten, als man zunächst meinte.

Die seelische Entwicklung.

Der bedeutsamste Unterschied zwischen Mensch und Tier liegt auf seelischem Gebiete; auf den seelischen Fähigkeiten des Menschen beruht seine gewaltige Überlegenheit über die höchststehenden Mitgeschöpfe. Die Lehre von der Abstammung des Menschen müßte also eigentlich vor allem das Problem der Entstehung der Menschenseele ins Auge fassen. Dies Problem bietet aber schon deshalb sehr große Schwierigkeiten, weil solche einer vergleichenden Psychologie der Tier- und Menschenseele im Wege stehen. Tierknochen, -muskeln und -gehirne kann man direkt sehen und mit den menschlichen vergleichen; in die Tierseele aber kann man nicht unmittelbar hineinschauen, sondern es geben nur unsichere und unpräzise Analogieschlüsse einen vagen Einblick in dieselbe. Die Palaeontologie, die für die Feststellung der Abstammung auf körperlichem Gebiete so wertvolle Dienste leistet, läßt uns hier im Stich. Darum bleiben die Hypothesen über die Entwicklung der Seele in ziemlich unbestimmten Allgemeinheiten stecken. Daß Sinneswahrnehmung, Gedächtnis, Gefühl, Begehren, Instinkt zum wenigsten den höheren Tieren zukommen, daran kann man nicht zweifeln. Aber auch Ansätze zur Abstraktion, zum Denken, zu höheren, beim Menschen sittlich bewerteten Regungen des Gefühls- und Willenslebens dürften ihnen nicht ganz fehlen.

Die Herkunft der ältesten irdischen Lebewesen. Die herrschende Abstammungslehre nimmt an, daß alle uns bekannten Organismen von ganz einfachen Lebewesen abstammen. Woher aber kommen diese ältesten Stammformen des Lebendigen auf der Erde? Die Kosmogonie führt zu dem Ergebnis, daß die Materie unserer Erde einst in glühend heißem Zustande sich befand. Sie konnte in solchem Zustande keine lebenden Wesen beherbergen. Diese können also erst nach genügender Erkaltung aufgetreten sein.

Die Urzeugungshypothese.

Auf Grund dieser Überlegung kommt man zu dem Gedanken, die einfachsten Urformen des Lebens könnten vielleicht aus unbelebter Materie entstanden sein, nachdem die Erde sich genügend abgekühlt und das Wasser sich in flüssiger Form niedergeschlagen hatte. Die Entstehung lebender Wesen aus toten Stoffen bezeichnet man als elternlose Zeugung oder Urzeugung (Archigonie, Generatio aequivoca oder spontanea). Viele ältere Naturbeobachter sprachen die Meinung aus, daß die Urzeugung etwas ganz Verbreitetes sei (freilich lehrte Harvey bereits im 17. Jahrhundert: omne animal ex ovo). In Schmutz und Schlamm, in fauligem Wasser oder Fleisch usw. schien das Leben aus der toten Materie ganz von selbst zu entstehen. Spätere genauere Forschung (Pasteur u. a.) hat gezeigt, daß solche Beobachtungen irrtümlich waren. Sorgfältige Untersuchung ist niemals auf Urzeugung gestoßen; aus der Erfahrung kennen wir nur Elternzeugung als Quelle neuen Lebens.

Trotzdem hält man vielfach an der Urzeugungshypothese fest, um die Herkunft des Lebens auf der Erde erklären zu können. Man nimmt an, daß Urzeugung nur unter seltenen, zufällig günstigen Bedingungen stattfindet und darum nicht beobachtet wird, oder auch daß die durch elternlose Zeugung

entstehenden Lebewesen unsichtbar klein sind. Oder man meint, in früheren Zeiten hätten auf der Erdoberfläche Bedingungen geherrscht, die Urzeugung ermöglichten, während diese unter den gegenwärtigen Verhältnissen nicht mehr vorkomme. Im warmen Wasser hätten sich aus einfacheren Stoffen kompliziertere Kohlenstoffverbindungen, und zwar schließlich stickstoffhaltige, eiweißartige Substanzen gebildet. Durch weitere Komplikation sei aus diesen eine bereits einen Stoffwechsel, Assimilation und Wachstum unterhaltende Substanz entstanden. Durch ihre Assimilations- und Wachstumsfähigkeit breitete sie sich aus. Dabei mochte sie zuerst zufällig in Teile zerfallen, womit der Anfang zur Fortpflanzung gegeben war. Nun setzte die Entwicklung ein und ließ aus dieser ersten, rohen lebendigen Substanz durch Sonderungs- („Differenzierungs-") Prozesse kernhaltige einzellige Organismen und aus diesen die Vielzelligen entstehen.

Haeckel unterscheidet im Urzeugungsvorgang fünf Stadien. Dabei handelt es sich natürlich um völlig hypothetische Annahmen, die man in verschiedener Weise um- und ausgestalten kann. Jedenfalls müßten die durch Urzeugung entstehenden Lebewesen noch viel einfacher sein als die einfachsten Einzelligen, die wir wirklich beobachten können. Die Zellkerne und andere Einrichtungen, die wir bei einzelligen Wesen finden, wären als lange Zeit nach der Urzeugung entstandene Entwicklungsprodukte aufzufassen.

Zugunsten der Urzeugungshypothese wird neben ihrer vermeintlichen Unentbehrlichkeit vielfach angeführt, daß durch die Assimilation unter unseren Augen fortwährend leblose Substanz in belebte verwandelt wird. Indessen Kritik. finden wir diese Umwandlung nur im Organismus selbst, also dort, wo bereits Leben vorhanden ist, nie aber außerhalb der Lebewesen, wo sie nach der Urzeugungslehre auch möglich sein soll. Wenn zu irgendeiner Zeit auf der Erde lebende Substanz ganz von selbst aus toter entstehen konnte, dann ist es doch merkwürdig, daß dieser Vorgang gegenwärtig niemals, auch im Laboratorium nicht, zur Beobachtung gelangt. Anhänger der Urzeugungslehre weisen darauf hin, daß die früher auf der Erde herrschenden andersartigen Verhältnisse in Betracht zu ziehen seien. Doch sind diese früheren Verhältnisse sicherlich im Laboratorium leicht künstlich nachzuahmen; die Temperatur wird höher, die Luft wasserreicher gewesen sein als heute.

Die Schwierigkeiten der Urzeugungslehre sind in der Tat sehr bedenklich, und die Vertreter derselben würden eine solche Hypothese schwerlich mit so starker Überzeugung verteidigen, wenn sie nicht fürchteten, anderenfalls den Glauben an eine übernatürliche Erschaffung des Lebens anerkennen zu müssen. Erst in jüngster Zeit sind die Chemiker dem Ziele nahe gekommen, solche eiweißartigen Kohlenstoffverbindungen aufzubauen, wie sie im Organismus sich finden. Wie soll nun, sagen wir im warmen, unreinen Wasser oder Schlamm, von selber vorgekommen sein, was unsere Chemiker nur mit komplizierten, fein ausgetüftelten Maßnahmen erreichen oder erreichen werden! Man mag aber immerhin einmal voraussetzen, daß durch zufällig günstige Umstände im Laufe der Erdentwicklung eiweißartige Stoffe entstanden sind. Solche Stoffe sind jedoch

durchaus noch keine lebenden Wesen. Zwischen totem Eiweiß und lebendigem Plasma klafft noch die ganze große Lücke, die das Geheimnis des Lebens in sich schließt. Die Eiweißkörper bestehen aus den gleichen Atomen, die auch andere tote Stoffe aufbauen; ihre Bildung bedeutet nichts prinzipiell Neues. Die Entstehung der einfachsten aus der Erfahrung bekannten Lebewesen bedeutet viel mehr. Selbst da, wo wir an oder in ihnen nichts von einem feineren, komplizierteren Bau bemerken, weil unsere Beobachtung zu grob sein mag, zeigen sie uns durch ihre Fähigkeiten des Stoffwechsels, der Fortpflanzung usw., wie sehr sie sich von toten Eiweißklümpchen unterscheiden. Oft genug aber sind in scheinbar einfachen Lebewesen bei genauerer Beobachtung feinere Einrichtungen gefunden worden, die sie von den form- und strukturlosen Klümpchen absondern, welche der Vertreter der Urzeugungslehre an den Ursprung des irdischen Lebens stellen mag.

Man wird übrigens die Urzeugungshypothese wahrscheinlich verschieden beurteilen, je nachdem man auf mechanistischem oder vitalistischem Standpunkte steht. Der biologische Mechanist sieht im lebenden Körper ein Gebilde, in dem nur die physikalischen und chemischen Realitäten oder Kräfte wirken, die auch in der unbelebten Natur vorkommen; für ihn ist der Organismus also nichts prinzipiell Neues gegenüber den Objekten der toten Natur, und er kann es für prinzipiell möglich halten, daß in dieser unter günstigen Umständen lebende Substanz entsteht, ohne daß dabei bereits lebende Wesen mitwirken. Für den Vitalisten ist die Urzeugungsannahme viel schwieriger. Er sieht im Lebewesen mehr als ein nur physiko-chemisches Gebilde; er nimmt an, daß besondere vitale, nicht-physikochemische Realitäten oder Kräfte in die physikochemischen Prozesse eingreifen, die sich im Organismus abspielen. Woher sollen nun diese besonderen vitalen Faktoren, die nicht physikalischer oder chemischer Natur sind, in den Organismus hineinkommen, wenn dieser durch Urzeugung aus der unbelebten physikochemischen Natur entsteht? Bei der Urzeugung müßte plötzlich etwas ganz Neues in der Natur auftreten, nämlich jene besonderen vitalen Kräfte, die in der toten Natur fehlen. Unmöglich wäre das ja schließlich nicht, da auch in der toten Natur unter gewissen Umständen neue Kräfte auftreten, wie z. B. die magnetischen bei der Bewegung von Elektrizität. Aber die Annahme ist doch befremdend, und darum wird der Vitalist meist die Urzeugungslehre ablehnen.

Jedenfalls hat diese erhebliche Bedenken gegen sich, und darum ist es wohl zu verstehen, daß man vielfach bemüht war, sie durch andere naturwissenschaftliche Hypothesen überflüssig zu machen. So kam man zu den folgenden Erwägungen und Anschauungen: Wenn das Leben nicht zu irgendeinem Zeitpunkt in der Entwicklung des Kosmos entstehen konnte, dann muß es so alt sein wie die Welt selbst. Wenn die tote Natur ewig ist, gilt dies vielleicht auch vom Leben. Dann erhebt sich aber sofort das Bedenken, daß die lebentragende Erde selbst nicht seit Ewigkeit da ist und früher wegen ihrer Glut keine Organismen beherbergen konnte. Fechner und Preyer haben demgegenüber angenommen, daß auch die frühere Feuerglut unseres Planeten irdisches Leben nicht

Das Leben so alt wie die Natur. Glutorganismen.

ausschloß. Freilich, lebende Substanz von der uns bekannten Beschaffenheit konnte damals auf der Erde nicht existieren; aber an Stelle der eiweißartigen Kohlenstoffverbindungen konnten andere Stoffe, vielleicht infolge der Hitze flüssige Metallverbindungen, als Träger von Lebensvorgängen fungieren. Das Leben würde mit fortschreitender Abkühlung der Erde auf andere Stoffe, die bei der betreffenden Temperatur sich besser als Lebensträger eigneten, übergegangen sein; gegenwärtig sind nun gerade Kohlenstoffverbindungen an der Reihe.

Diese phantasievolle Glutorganismen-Hypothese wirkt anziehend durch ihre Großartigkeit und Kühnheit, muß aber dem nüchternen Forscher als gar zu erfahrungsfremd erscheinen. Wir kennen nun einmal nur jene hochkomplizierten Kohlenstoffverbindungen als Träger des Lebens; daß andere Verbindungen, in denen etwa Silizium oder Eisen die Rolle des Kohlenstoffes übernähme, an Stelle der eiweißhaltigen Lebensträger treten könnten, wird durch keinerlei Beobachtung nahegelegt. Auch erheben sich leicht weitere Bedenken, zunächst schon vom Standpunkte des Chemikers aus. Ferner ist schwer zu verstehen, wie das Leben von den Eisen- oder Siliziumverbindungen auf die Kohlenstoffverbindungen übergehen konnte; der Übergang erscheint doch als ein gewaltiger Sprung. Die ganze Vorstellungsweise kann man natürlich durch allerhand Hilfshypothesen ausmalen und gegen derartige Bedenken verteidigen; immerhin bietet sie nur eine vage Möglichkeit, die allzuweit jenseits der Grenzen unserer Erfahrung liegt.

Kosmozoenlehre; ältere Form (Meteorhypothese).

Mehr Beachtung fand und verdient die sogenannte Kosmozoenlehre, die von Richter, Thomson, Helmholtz und Arrhenius aufgestellt und ausgebaut worden ist. Sie nimmt an, daß kleine Lebenskeime, Sporen oder dergleichen, von anderen Himmelskörpern, die lebende Wesen tragen, auf unsere Erde verschlagen wurden, nachdem diese in ihrer Entwicklung sich hinreichend abgekühlt hatte, um jenen Keimen als neue Heimat dienen zu können. In der älteren Kosmozoen- (oder Panspermie-) Lehre wurde angenommen, daß solche Lebenskeime in den Ritzen und Spalten von Meteorsteinen mitgeschleppt und auf unsere Erde übertragen wurden. Gegen diese Auffassung mußten sich jedoch manche Einwände erheben. Durch Reibung in der Erdatmosphäre erhitzen sich die Meteore so stark, daß sie hell aufleuchten; man sollte meinen, dabei müßten alle etwa mitgeführten Keime zugrunde gehen. Darauf kann man freilich antworten, daß die Erhitzung wegen der Geschwindigkeit des Vorgangs zuweilen eine oberflächliche bleibt, so daß in tieferen Spalten der Meteore geborgene Sporen unter günstigen Umständen unversehrt bleiben könnten. Vielleicht ist ein anderer Einwand gefährlicher für die Hypothese. Trotz ihrer großen Geschwindigkeit würden die Meteore mit den Sporen ungemein lange im luftleeren, kalten Weltenraume dahineilen müssen, um von einem Sonnensystem zu einem anderen zu gelangen. Es ist äußerst fraglich, ob lebende Keime, auch sogenannte Dauersporen, die eine große Widerstandsfähigkeit besitzen, eine solche Reise überstehen können. Sie müssen doch schließlich ihren Stoffwechsel aufrecht erhalten, sie müssen atmen, wenngleich auch nur in stark reduziertem Maße. Die Kälte

des Weltenraumes mag den Stoffwechsel auf ein äußerst geringes Maß herabsetzen und dadurch eher erhaltend als schädlich wirken; ganz kann sie Stoffwechsel und Atmung nicht unterbinden, ohne die Keime auf ihrer langen Weltenreise zu töten. Im Weltenraume aber fehlt der zur Atmung erforderliche Sauerstoff. — Man weiß auch nicht recht, wie die Sporen auf oder in die Meteore kommen sollen. Man kann ja vermuten, die letzteren seien Bruchstücke einer zertrümmerten Welt, die lebende Wesen beherbergte. Aber man sollte meinen, bei der Zertrümmerung hätte das Leben des Weltkörpers — etwa durch Erhitzung infolge des zerschmetternden Stoßes — der Vernichtung anheimfallen müssen. Man muß hier wiederum Hilfshypothesen suchen, die ja schließlich zu finden wären; die Übertragung des Lebens von Stern zu Stern muß aber schließlich als unwahrscheinlicher Zufall erscheinen, wenn man alle die Umstände in Betracht zieht, die zu ihrem Gelingen zusammenkommen müssen.

Die Arrheniussche Verbesserung der Kosmozoenlehre (Strahlungsdruckhypothese).

Arrhenius hat nun der Kosmozoenlehre eine Gestalt gegeben, die ihre Schwierigkeiten ganz erheblich zu mindern scheint. Er nimmt den Strahlungsdruck des Lichtes der Gestirne zu Hilfe, der winzige Sporen mit ungeheurer, die der Meteore vielmals übertreffender Geschwindigkeit durch den Raum von Stern zu Stern treiben kann. Auf einem Leben tragenden Himmelskörper können winzige Keime leicht in hohe, dünne Schichten der Atmosphäre gelangen. Von dort aus kann sie dann der Druck, den eine Lichtstrahlung ausübt, in den Raum hinaustreiben. Bei ihrem Fluge können sie in die Lufthülle eines anderen, geeignete Lebensbedingungen bietenden Gestirns geraten. Sie mögen dann auf seine Oberfläche niedersinken und dort sich entwickeln.

Die Strahlungsdruckhypothese hat offenbar große Vorzüge vor der älteren Meteorhypothese. Die Sporen brauchen nach der neuen Anschauung bei weitem nicht so lange im kalten, luftleeren Weltenraume dahinzueilen, bis sie eine neue Wohnstätte finden, weil ihnen der Strahlungsdruck eine viel größere Geschwindigkeit verleihen kann als die Meteore. Auch in anderer Hinsicht läßt die Arrheniussche Annahme die Übertragung von lebenden Keimen von einem Stern auf einen anderen weniger unwahrscheinlich erscheinen. Daß belebte Himmelskörper zertrümmert werden, und daß dann Stücke von ihnen als Meteore lebendige Keime unversehrt auf einen anderen, geeignete Bedingungen bietenden Stern tragen, erscheint vielleicht nicht gerade unmöglich, aber doch sehr wenig wahrscheinlich. Die Strahlungsdruckhypothese macht es verständlich, daß von belebten Sternen nicht selten Sporen hinausgetrieben werden in den leeren Raum; dazu sind keine besonderen Katastrophen notwendig. So kann es schon eher vorkommen, daß Lebenskeime von einem Himmelskörper auf einen anderen gelangen.

Auch die neue Hypothese ist freilich einigen Bedenken ausgesetzt. Man kann fragen, ob die Strahlung, insbesondere die für viele Mikroorganismen so schädliche ultraviolette, der die Sporen im Weltraum so lange ausgesetzt sind, diese nicht abtöte. Das mag oft genug vorkommen, wie ja auch viele Keime auf der langen Wanderung dem Luftmangel und der Kälte erliegen oder auf einen ungeeigneten Körper treffen und absterben werden. Andere Sporen

mögen ultravioletter Strahlung weniger ausgesetzt sein, weil sie etwa nicht von weißen, sondern von gelben oder rötlichen Sonnen vornehmlich bestrahlt werden, die nur wenig Ultraviolett aussenden; sie mögen widerstandsfähiger sein, früher eine neue Heimat finden und so die gefahrvolle Reise glücklich überstehen. Freilich, nahe am Ziel droht noch Vernichtung. Man wird befürchten müssen, daß die rasend schnell dahinfliegenden Sporen zerstört werden, wenn sie in die Atmosphäre eines Himmelskörpers hineingeraten, die ihren Flug hemmt. Wir sehen, wie solche Hemmung durch die Erdatmosphäre die Sternschnuppenkörper vernichtet; der Gedanke liegt nahe, daß sie auch für die lebenden Sporen verhängnisvoll werden müsse. Allerdings könnten ihrem Fluge entgegengerichtete Strahlung oder äußerst dünne Spuren einer weit in den Raum hinaus sich erstreckenden Lufthülle vielleicht rechtzeitig die gefährliche Geschwindigkeit mindern und so eine glückliche Landung ermöglichen.

Die Arrheniussche Kosmozoenhypothese fügt sich aufs beste seiner Lehre von den ewig wechselnden Umwandlungen in der Welt der Gestirne ein: Aus Nebelflecken werden Sterne, die erkalten und durch Zusammenstöße sich in Nebel zurückverwandeln. Stets sind einzelne Gestirne in einer Verfassung, in der sie Lebewesen beherbergen können. Das Leben zieht, durch winzige Keime übertragen, von Stern zu Stern als ewig ruheloser Wanderer durch das Weltall.

Man hat gegen die Kosmozoenlehre eingewandt, daß sie das Problem der Entstehung des Lebens nicht löse, sondern nur zurückschiebe. Indessen fällt dies Problem fort, wenn es nie eine Entstehung des Lebens aus der toten Natur gegeben hat, wenn etwa das Leben wie die tote Natur seit Ewigkeit existiert. Jedenfalls ist jenes Problem durch die Kosmozoenlehre in gute Gesellschaft gebracht, wie F. A. Lange sagte, in die Gesellschaft der Fragen nach der Herkunft der Materie, der Energie usw.

Die Triebkräfte der Entwicklung der Arten. Nachdem wir die allerdings recht unsicheren naturwissenschaftlichen Antworten auf die Frage nach der Herkunft der ersten irdischen Organismen kennen gelernt haben, bleibt nun darzulegen, wie aus letzteren sich die ungeheuer zahlreichen Arten niederer und höherer Lebewesen entwickelten, die gegenwärtig die Erde bewohnen.

Der Abstammungs- oder Entwicklungsgedanke ist durch Darwin und seine Mitkämpfer zu einem entscheidenden Siege geführt worden. Nur ganz vereinzelt stößt er noch bei einem Fachmann, wie bei dem Zoologen Fleischmann, auf Widerspruch. Er wird in der Tat den biologischen Tatsachen in einleuchtender Weise gerecht. Wenn man sich demnach über das „Daß" der Artenentwicklung so gut wie einig ist, herrscht doch über das „Wie" und „Wodurch" der Umwandlung unter den Fachleuten durchaus noch keine Eintracht. Nach Darwin geht die Entwicklung in der Hauptsache in ungemein zahlreichen kleinen Schritten vor sich. Nach der Meinung des Anatomen Kölliker und der sich ihm anschließenden „Heterogenetiker" soll die Umbildung der Lebewesen in größeren Sprüngen erfolgen. Darwin denkt sich dieselbe mehr als einen langsam und stetig fortschreitenden Prozeß, während de Vries besondere Umbildungszeiten

(„Mutationsperioden") der Arten annimmt, in denen explosiv neue Formen entstehen, während die Arten in den langen Zeiten zwischen solchen Perioden konstant bleiben.

Ferner bestehen verschiedene und einander bekämpfende Ansichten bezüglich der Triebkräfte der Artenumwandlung. Ihnen wenden wir uns nunmehr zu, um verstehen zu lernen, warum das Leben, das auf der Erde mit ganz primitiven Formen begonnen haben mag, zu so zahlreichen, mannigfaltigen und hochkomplizierten Gestaltungen gelangte.

Zunächst erhebt sich die Frage, ob die Faktoren, welche die Umbildung der Arten bewirken, in den Organismen selbst liegen oder von außen her ihren Einfluß ausüben. Im ersteren Falle spricht man wohl von Autogenese. Hervorragende Naturforscher, wie Kölliker, Nägeli u. a. haben in inneren Ursachen die wesentlichen Triebkräfte der Artenentwicklung gesucht. In der Tat ist es sehr wohl denkbar, daß eine Tier- oder Pflanzenart rein aus sich heraus, unabhängig von äußeren Einflüssen, sich langsam und stetig oder auch sprungweise ändert. Wir beobachten zwar, wie überall in der Natur den Eltern die Kinder gleichen, den Kindern wiederum die Kindeskinder und so fort. Warum dies jedoch der Fall ist, ist uns in letzter Linie nicht bekannt; wir stehen hier vor dem Rätsel der Vererbung. An sich erscheint es aber durchaus möglich, daß die Erhaltung der Form durch Vererbung keine unbedingte ist, daß vielmehr ganz von selbst im Laufe der Generationen Veränderungen sich einstellen und häufen, die zur Umwandlung einer Art in eine andere führen.

Autogenese.

Ob nun Autogenese wirklich eine Rolle in der Entwicklung der Arten gespielt hat, und wie groß diese Rolle gewesen sein mag, ist strittig und schwer zu entscheiden. Denn die Lebewesen sind immerfort mancherlei äußeren Einflüssen ausgesetzt, die der Gegner der Autogenese für alle Umwandlungen verantwortlich machen kann. Immerhin liegt es in einzelnen Fällen nahe, an Entwicklung aus inneren Ursachen zu denken. Das Mammut (Elephas primigenius) besitzt zwei gewaltige Stoßzähne, die in krummer Linie so stark sich entwickelt haben, daß ihre Spitzen nicht mehr vorwärts gerichtet sind, wie bei den Elefanten der Jetztzeit oder dem verwandten fossilen Mastodon, sondern rückwärts, so daß sie sich der Zahnwurzel nähern. Durch dieses starke Wachstum in krummer Linie hat der Mammutzahn natürlich an Brauchbarkeit als Stoßwaffe verloren; auf einer früheren Entwicklungsstufe, als die Spitze des Zahnes noch nach vorne gerichtet war, stellte dieser offenbar eine zweckmäßigere Waffe dar. Bei der Betrachtung der Mammutzähne gewinnt man leicht den Eindruck, daß dieselben, nachdem sie als etwas gebogene, nach vorne gerichtete Stoßzähne aus irgendwelchen Gründen einmal entwickelt waren, nun im Laufe der Generationen ganz von selbst, autogenetisch, weiter und weiter wuchsen; infolge der Krümmung der Zähne mußten bei fortschreitendem Wachstum die Spitzen sich schließlich rückwärts wenden, was freilich unzweckmäßig war. Ähnliche, sozusagen übertriebene („exzessive") und darum unzweckmäßige Bildungen findet man öfters in der belebten Natur, im Tierreich z. B. bei Zähnen und Hörnern. Man hat den Eindruck, daß hier die Entwicklung, nachdem sie einmal in Fluß

gekommen ist, ganz von selbst, unabhängig von äußeren Einflüssen, in der einmal eingeschlagenen Richtung fortschreitet, obwohl sie schließlich zu Unzweckmäßigem führt.

Wir werden demnach der Autogenese eine Rolle bei der Umwandlung der Organismenarten zuschreiben. Doch können wir nicht die ganze Entwicklung der lebenden Natur als Autogenese auffassen. Daran hindern uns vor allem die „Anpassungen" der Organismen an die umgebende äußere Natur. Sie treten uns im Tier- und Pflanzenreich überall in großer Mannigfaltigkeit entgegen. Durch einen dichten warmen Pelz sind viele Tiere an kälteres Klima, durch weiße, vor dem Erspähen schützende Farbe sind Polartiere an die Umgebung von Eis und Schnee angepaßt. Die Ausbildung der zwischen den Zehen befindlichen Haut zu einer Schwimmhaut paßt Wasservögel ihrem Milieu an. Ein sprechendes botanisches Beispiel für Anpassungserscheinungen bieten Wasserpflanzen, die unterhalb der Wasseroberfläche sehr fein geschlitzte, Strömungen wenig Widerstand bietende Blätter tragen, auf dem Wasser aber einfache flache Schwimmblätter ausbilden. Beim Wasserhahnenfuß haben wir feingeschlitzte untertauchende Blätter und viel weniger gegliederte Luftblätter. Die Fülle der Anpassungen an die Umwelt, welche wir bei den Lebewesen finden, kann nicht wohl autogenetisch, unabhängig von den von der Umwelt ausgehenden Einflüssen, entstanden sein. Wie sollten rein aus inneren Triebkräften heraus die Pflanzen und Tiere sich gerade so entwickeln, daß sie an ihre Umgebung angepaßt erscheinen, wie etwa die Gebirgspflanzen ans Gebirge, die Polartiere an eine Eis- und Schneelandschaft?

Ausnutzungsprinzip.

Eine gewisse Anpassung kann sich freilich bei aus inneren Ursachen entstandenen Merkmalen dadurch ergeben, daß das Lebewesen diese ausnutzt, wenn sie in irgendeiner Umgebung, zu irgendeinem Zwecke brauchbar sind. So mag eine Tierart, die aus inneren Ursachen einen dichteren Pelz bekommt, diesen Umstand ausnutzen, indem sie in kältere Gegenden einwandert; sie wird dann der neuen Umgebung angepaßt erscheinen. Der Verfasser hat diese Erklärung von Anpassungen als Ausnutzungsprinzip bezeichnet. Dasselbe mag manche Anpassungen verständlich machen; alle kann es sicherlich nicht erklären. Wenn z. B. der Fuß des Schwanes dem Zwecke des Schwimmens angepaßt erscheint, so kann man nicht wohl glauben, daß die Vorfahren des Schwanes aus im Organismus selbst liegenden Ursachen den Schwimmfuß erst fertig ausgebildet hätten und dann zum Wasserleben übergegangen seien, weil sie dabei die neue Errungenschaft zweckmäßig verwerten konnten. Wenn Tiere und Pflanzen so häufig einfache und zusammengesetzte Merkmale aufweisen, die für eine bestimmte Umwelt, für ganz besondere Lebensverhältnisse passen, so wird man annehmen müssen, daß diese Merkmale vielfach unter dem Einfluß der betreffenden Umwelt und Lebensverhältnisse entstanden sind.

St. Hilaires Prinzip der direkten Umbildung durch äußere Faktoren.

Äußere Ursachen wirken ohne Frage verändernd auf die Lebewesen ein. Hochgebirgspflanzen verlieren im Tieflande z. B. ihre Behaarung mehr oder weniger; Schmetterlinge ändern unter Temperatureinflüssen ihre Farbe. Solche

Farbänderungen bei Schmetterlingen übertragen sich nun, wie Standfuß, Fischer und Schröder gezeigt haben, unter Umständen auch auf die Nachkommenschaft. Man kann sich leicht vorstellen, wie die durch äußere Einwirkungen hervorgerufenen, auf die Nachkommen übergehenden Veränderungen sich steigern, wenn jene Einflüsse auch auf die folgenden Generationen wirken. So mag sich schließlich eine Art in eine andere umwandeln, indem sie sich unter der dauernden Einwirkung irgendeines neuen äußeren Einflusses immer mehr verändert. Diese Lehre von der direkt umformenden Wirkung äußerer Faktoren pflegt man als das St. Hilairesche Prinzip zu bezeichnen, nach einem französischen Forscher, der vor Darwin die Lehre von der Entwicklung vertrat und letztere in der angedeuteten Weise erklärte.

St. Hilaires Prinzip erklärt zunächst die Entstehung der Anpassungen ebensowenig wie die Lehre von der Autogenese. Wenn durch den Einfluß der südlichen Sonne unsere Haut dunkler wird, so bedeutet dies vielleicht keine Anpassung; denn die dunklere Hautfärbung begünstigt die Erwärmung im Sonnenschein ähnlich wie ein schwarzer Rock und scheint daher eher unzweckmäßig als zweckmäßig zu sein. Übrigens ist es sehr wohl möglich, daß sie doch nützlich ist; sie schützt vielleicht das tiefer liegende Gewebe vor zu starker Bestrahlung. Es gibt aber durch die Umwelt direkt hervorgerufene Umänderungen, die ganz offensichtlich zweckmäßig sind und Anpassungen darstellen. Mäuse, die man in einem kalten Raume aufzieht, passen sich der niedrigen Temperatur durch dichtere Ausbildung ihres Pelzes an. In der dünnen Luft des Hochgebirges vermehren sich die roten Blutkörperchen beim Menschen, der aus dem Tieflande kommt; diese Vermehrung aber erleichtert die Sauerstoffversorgung des Körpers in der dünnen Luft, bedeutet also eine Anpassung an dieselbe.

Die Lehre von der direkten Anpassung und ihrer Vererbung. Lamarckismus.

Als eine besondere Gruppe solcher „direkten Anpassungen" können die funktionellen Anpassungen betrachtet werden; dabei handelt es sich um ein Sich-Anpassen eines Organes an seine Tätigkeit. Hierher gehört die Vergrößerung von Organen, die stark in Anspruch genommen werden. Die viel gebrauchten Armmuskeln eines Schmiedes werden groß und stark; die wenig benutzten eines Schreibers hingegen verkümmern. Indem äußere Einflüsse die Organe in dieser oder jener Weise in Tätigkeit setzen, gestalten sie dieselben dadurch gleichzeitig derart um, daß sie jene Tätigkeit besser ausführen können.

Wenn nun solche direkten und funktionellen Anpassungen auf die Nachkommen vererbt werden, so können sie offenbar zur Umwandlung und Entwicklung von Arten führen. Es handele sich z. B. um ein durch seine Verfolger zu häufiger Flucht genötigtes Tier. Durch die Fluchtbewegungen werden seine Bewegungsorgane, Beine, Flossen oder Flügel, gestärkt und vervollkommnet. Wenn sich diese Vervollkommnung vererbt und in den folgenden Generationen der gleiche Vorgang funktioneller Anpassung sich wiederholt, so mag die viel verfolgte Tierart allmählich ganz vorzügliche Bewegungsorgane erlangen.

Es ist allerdings strittig, ob solche im individuellen Leben erworbenen Eigen-

schaften vererbt werden können. Man hat dies früher als selbstverständlich betrachtet, bis insbesondere Weismann durch theoretische Bedenken und experimentelle Einwände die Sache in Frage stellte. Seine verneinende Beantwortung des Problems fand viele Anhänger. Inzwischen sind jedoch manche Beobachtungen und Überlegungen angestellt worden, die für eine Vererbung von Eigenschaften sprechen, welche im individuellen Leben erworben wurden. Weismann u. a. fanden zwar, daß Verstümmelungen, die z. B. durch Abschneiden des Schwanzes hervorgebracht wurden, sich nicht vererbten. Indessen berichten andere Beobachter von positiven Ergebnissen ihrer Vererbungsexperimente. Daß Umfärbungen von Schmetterlingen, die durch Temperatureinflüsse hervorgerufen wurden, sich auf die Nachkommen übertragen, wurde bereits erwähnt. Ähnliche Umfärbungsvererbungen erzielte Kammerer bei Eidechsen und Salamandern; Wiederholungen dieser Versuche an Salamandern durch F. Megusar fielen allerdings negativ aus. Von besonderem Interesse ist es, daß nach Versuchen von Schröder (am kleinen Weidenblattkäfer und an der Motte Gracillaria stigmatella), von Frl. v. Chauvin (am mexikanischen Axolotl) und insbesondere neuerdings von Kammerer (an der Geburtshelferkröte, am Alpen- und am Feuersalamander) im individuellen Leben erworbene Instinktänderungen vererbt werden können. Bei Kammerers Versuchen wird durch äußere Einflüsse die Art und Weise der Nachkommenproduktion, des Gebärens usw., verändert, und diese Veränderungen vererben sich. In jüngster Zeit hat Semon durch eingehende Diskussion und eigene Beobachtung energisch die Vererbung von im individuellen Leben erworbenen Eigenschaften verteidigt. Es kann gegenwärtig kein Zweifel daran sein, daß gewisse individuelle Erwerbungen bei den Nachkommen wieder auftreten. Inwieweit aber die verschiedenartigen Veränderungen, die im Leben der Individuen auftreten können, auf deren Kinder übertragen werden, und inwieweit solcher Übertragung abstammungstheoretische Bedeutung zukommt, ist unter den Fachleuten noch nicht ausgemacht. Es kann sehr wohl sein, daß die einen individuellen Erwerbungen übertragen werden, die anderen hingegen nicht. Die Frage liegt auch theoretisch recht schwierig, wie das Vererbungsproblem überhaupt noch ziemlich im Dunkel bleibt, trotz schöner und exakter Beobachtungen.

Die Lehre, daß die Entwickelung der Arten durch die verändernde, direkte Anpassungen hervorrufende Einwirkung äußerer Faktoren zustande kommt, indem das im Leben der Einzelwesen erworbene Neue sich auf die Nachkommen überträgt und durch Fortwirkung jener Faktoren weitergebildet wird, mag (historisch nicht ganz korrekt) als Lamarckismus bezeichnet werden. Die Verwandtschaft des St. Hilaireschen Prinzips mit dem Lamarckismus liegt auf der Hand. Den letzteren Ausdruck verwendet man übrigens vielfach in einem engeren Sinne, z. B. um die Vererbung der stärkenden Wirkung des Gebrauchs und der schwächenden Wirkung des Nichtgebrauches auf die Organe zu bezeichnen. Doch ging Lamarcks Hypothese viel weiter. Auch Autogenese spielt nach ihm eine große Rolle; neben den äußeren Entwicklungsfaktoren werden innere, speziell psychische, stark betont.

Dunkelheit in der Lehre von der direkten Anpassung. Indirekte Anpassung; Darwins Selektionslehre.

Die Lehre von der direkten Anpassung hat etwas Dunkles und somit Unbefriedigendes an sich. Wenn ein Lebewesen in andere Verhältnisse kommt, wenn es neuen Einflüssen ausgesetzt wird, so werden wir es verständlich finden, daß es durch dieselben verändert wird. Darin liegt nichts Überraschendes; daß ein Ding von neuen Umgebungseinflüssen nicht unberührt bleibt, ist nicht weiter wunderbar. Seltsam aber muß es erscheinen, daß durch äußere Faktoren hervorgerufene Veränderungen zugleich Anpassungen darstellen, d. h. geradeso ausfallen, wie es für die neuen Lebensumstände zweckmäßig ist. Man mag sich nicht darüber wundern, daß eine Vogelart, die ein Wasserleben beginnt, durch alle die Einwirkungen, denen sie sich dadurch aussetzt, verändert wird; daß durch die neuen Einflüsse aber gerade Schwimmhäute am Vogelfuß hervorgerufen werden, die das Tier so gut brauchen kann in den neuen Lebensverhältnissen, muß höchst wunderbar erscheinen. Darum lehnen viele Naturforscher derartige Lehren extremer Lamarckisten entschieden ab. Sie suchen die so rätselhaft anmutenden direkten Anpassungen soweit als möglich für die Entwicklungslehre entbehrlich zu machen. Freilich, in jenen Fällen, in denen die Beobachtung direkte Anpassung zeigt — man denke an das Dick- und Starkwerden des vielgebrauchten Muskels, an das Dicht- und Warmwerden des Mäusepelzes in kalter Umgebung —, muß man sich mit den Tatsachen abfinden und sich bemühen, sie so gut als möglich zu erklären. Im übrigen aber kann man versuchen, die Entstehung von Anpassungen in der organischen Natur auf andere Weise verständlich zu machen. Dies ist das Ziel der Darwinschen Selektionslehre, der Hypothese von der indirekten Entstehung von Anpassungen.

Das Grundproblem der Selektionslehre liegt also in der Anpassungsfrage. Wie kommt es, daß die Organismenarten sich so entwickelt haben, daß sie für ihre Lebensverhältnisse zweckmäßig eingerichtet erscheinen? Die Antwort lautet: Nur zufällig und selten entstehen in der lebenden Natur zweckmäßige Veränderungen unter vielen zwecklosen und zweckwidrigen; aber die zweckmäßig veränderten Lebewesen haben mehr Aussichten, sich im Kampfe ums Dasein durchzuschlagen, zur Fortpflanzung zu gelangen und ihre nützlichen Eigenschaften zu vererben. So bleiben die Verbesserungen in der lebenden Natur erhalten, während das weniger Zweckmäßige ausstirbt, weil es den Daseinskampf nicht bestehen kann.

Betrachten wir Darwins wichtigstes Erklärungsprinzip nun etwas genauer! In der Natur findet eine ungeheure Überproduktion von Lebewesen statt. Jeder sich fortpflanzende Organismus bzw. jedes Organismenpaar erzeugt normalerweise viele, oft ungemein viele neue Organismen. Die meisten derselben müssen sterben, ehe sie selbst das Fortpflanzungsgeschäft erledigt haben; denn sonst müßte jede Organismenart sich ins Ungemessene vermehren. Nun sind die Vertreter einer Art und auch die Nachkommen eines Lebewesens bzw. eines Paares nicht alle untereinander gleich; einige haben Vorzüge vor den übrigen, geradeso wie es unter Menschen und menschlichen Geschwistern der Fall ist. Die mit Vorzügen ausgestatteten, für das Leben besser Ausgerüsteten, werden dem großen Sterben in der Natur, dem mörderischen Kampf ums Dasein nicht

so leicht zum Opfer fallen; sie werden am häufigsten die Geschlechtsreife erleben und sich fortpflanzen. Dabei werden sie ihre Vorzüge, soweit diese erblich sind, auf die Nachkommen übertragen. Letztere werden demnach durchschnittlich besser fürs Leben ausgerüstet sein als die vorhergehende Generation. Aber sie werden untereinander wieder verschieden sein, und die den Lebensverhältnissen am besten Angepaßten unter ihnen werden wiederum den Daseinskampf am längsten bestehen und vorzugsweise zur Fortpflanzung kommen. So wird die neue Generation wiederum durchschnittlich besser angepaßt sein als die vorhergehende. In dieser Weise steigert sich durch „natürliche Zuchtwahl“ („Auslese“, „Selektion“), durch Übrigbleiben der Bestangepaßten im Daseinskampf und durch Vererbung der Fortschritte die Anpassung an die Lebensverhältnisse mehr und mehr; so entsteht die erstaunliche Zweckmäßigkeit pflanzlicher und tierischer Einrichtungen, etwa des komplizierten Giftzahnapparates mancher Schlangen, durch Häufung kleiner zufälliger Vorzüge und Verbesserungen. Von einer vielverfolgten Tierart z. B. werden durchschnittlich am häufigsten die mit den schärfsten Sinnen zum Bemerken der Feinde, mit den schnellsten Bewegungsorganen zum Entfliehen und mit der unauffälligsten, am besten vor Verfolgern schützenden Färbung ausgestatteten Exemplare lange genug leben, um sich fortpflanzen zu können. Ihre Nachkommen werden scharfe Sinne, schnelle Bewegungsorgane, unauffällige, schützende Färbung erben. Aber sie werden sich in bezug auf diese Vorzüge wiederum unterscheiden, und die am besten Ausgestatteten werden wiederum sich fortpflanzen und ihre gesteigerten Vorzüge vererben. Letztere bilden sich so immer mehr aus. — Die Verfolger werden sich in entsprechender Weise vervollkommnen, und so wird bei Verfolgten und Verfolgern die Ausrüstung fürs Leben immer zweckmäßiger.

Während nach lamarckistischer Lehre Anpassungen direkt durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden, entstehen sie also nach der Selektionslehre „indirekt“ dadurch, daß die zufällig besser angepaßten Organismen überleben und sich fortpflanzen.

Neudarwinismus, Altdarwinismus, Darwinismuskritik.

Die Selektionslehre hat auf der einen Seite begeisterte Anhänger gefunden, die fast die ganze Artenentwicklung und jedenfalls alle Anpassungen durch natürliche Zuchtwahl erklären wollen („Neudarwinismus“; Weismann, Spengel, Wallace, Galton). Darwin selbst (und ähnlich Haeckel, Hatschek, R. Hertwig, Lang, Lotsy, Plate, Semon, von Wettstein u. a.) sah in der Selektion nur ein Prinzip der Entwicklung neben anderen; er erkannte mit St. Hilaire den umbildenden Einfluß äußerer Faktoren und mit Lamarck die erbliche Wirkung von Gebrauch und Nichtgebrauch an, während die Neudarwinisten die Erblichkeit funktioneller Anpassungen leugnen.

Auf der anderen Seite ist die Selektionshypothese bis in die Gegenwart aufs schärfste bekämpft worden, und zwar auch von vielen Naturforschern (z. B. von Eimer, Kassowitz, Pauly, Wolff). Hier können wir nicht auf alle die zahlreichen Erwägungen und Gründe eingehen, die im Kampfe um die Berechtigung und Tragweite des Darwinschen Prinzips geltend gemacht wurden. Doch muß einiges davon wegen seiner prinzipiellen Wichtigkeit Erwähnung finden.

Die Einwände gegen die Benutzung des Zweckmäßigkeitsbegriffes in der Biologie sind abzulehnen.

Der erste Einwand richtet sich nicht nur gegen die Selektionslehre, sondern überhaupt gegen die Einführung des Zweckbegriffes und teleologischer Betrachtungen in die Biologie. In der Wissenschaft von der lebenden Natur dürfe von Zwecken und Zweckmäßigkeit so wenig die Rede sein wie in Physik und Chemie. Die Natur kenne keine Zwecke; der Biologe, etwa der Selektionstheoretiker, der von Zweckmäßigkeit u. dgl. spreche, trage den der menschlichen Welt entlehnten Zweckbegriff unberechtigterweise in die Natur hinein. In der Natur sei alles Ursache und Wirkung, sei alles kausal bestimmt; da bleibe kein Raum für Zwecke und Bestimmung durch Zwecke. Darum habe der Naturforscher auch nur nach Ursache und Wirkung, nicht aber nach Mittel und Zweck und nach Zweckmäßigkeit zu fragen.

Wenn die Natur kein denkendes Wesen ist, so „kennt" sie selbstverständlich auch keine Zwecke. Trotzdem ist der Biologe durchaus im Recht, wenn er z. B. die Füße des Frosches für zweckmäßig zum Schwimmen, die des Maulwurfes für zweckmäßig zum Graben, die der Katze für zweckmäßig zum Fangen der Beute erklärt. Zweckmäßig heißt hier zunächst nichts anderes als geeignet oder mehr oder weniger gut brauchbar. Die Erfahrung zeigt diese Brauchbarkeit, diese „Anpassung" an gewisse Funktionen oder Verhältnisse; und der Naturforscher hat hier wie überall zu konstatieren, was die Erfahrung zeigt.

Es ist ein Vorurteil, wenn man meint, die Naturwissenschaft habe nur Kausalbeziehungen zu erforschen. Sie soll alles Naturgeschehen kausal erklären; aber sie hat doch noch andere Aufgaben als die Feststellung von Ursache-Wirkungsbeziehungen. Sie erforscht auch andere als kausale Beziehungen, z. B. solche der Größe und Anordnung in der Sternenwelt; die („topographische") Anatomie stellt die Lagebeziehungen der Organe im Körper fest. Wenn es nun in der Natur Beziehungen der Anpassung, des Zweckmäßigseins für eine Leistung gibt — und sie kommen ohne Frage sehr oft vor —, so hat der Naturforscher sie ebensowohl zu erforschen wie Größen-, Lage-, Gleichzeitigkeits-, Kausalbeziehungen usw.

Übrigens liegt in der Feststellung einer Anpassungs- oder Zweckmäßigkeitsbeziehung zugleich immer eine Einsicht in eine Kausalbeziehung. Wenn ich die Schwimmblase der Fische als zweckmäßige Anpassung an das Leben im Wasser erkenne, so durchschaue ich damit ihre Wirkungen. Alle Anpassungen dienen gewissen Wirkungen, zuletzt der Erhaltung der Individuen oder der Arten; je geeigneter sie für diese Wirkungen oder „Zwecke" sind, um so zweckmäßiger erscheinen sie uns. Die Dornen eines Gewächses erscheinen zweckmäßig, weil sie dasselbe vor dem Gefressenwerden schützen und so zu seiner Erhaltung dienen. Dieser teleologischen Betrachtung kann man eine kausale Wendung geben, indem man sagt: Die Dornen bewirken die Fernhaltung Nahrung suchender Tiere und tragen so zur Erhaltung des Gewächses bei. Starke, spitze und dichte Dornen werden diese Wirkung besser ausüben als schwache, stumpfe und in großen Abständen stehende; erstere werden für die Wirkung, also schließlich für die Erhaltung des Gewächses, geeigneter oder „zweckmäßiger" sein.

Die Worte Zweckmäßigkeit, Anpassung usw. kann man leicht aus der

Naturwissenschaft entfernen, nicht aber die Betrachtung der Beziehungen und Verhältnisse, welche durch jene Worte bezeichnet werden sollen. Wenn der Biologe nicht beachten wollte, daß Hunderte und Aberhunderte von Einrichtungen in der lebenden Welt im Sinne der Erhaltung und Förderung von Individuen und Arten wirken, so würde er sich einer unerhörten Vernachlässigung von Beziehungen schuldig machen, die in der Natur allenthalben wirklich vorliegen und dem unbefangenen Beobachter sich geradezu aufdrängen. Das Gebiß der Katze wirkt mit bei ihrer Ernährung und dient so der Erhaltung und Förderung des Individuums; die Milchdrüsen derselben wirken mit bei der Erhaltung und Förderung der Nachkommen, also der Art. Diese Dinge muß der Biologe beachten; warum soll er sie nicht einfach dadurch zum Ausdruck bringen, daß er Gebiß- und Milchdrüsen als zweckmäßige Einrichtungen, als Anpassungen an die Ernährungsweise der alten und jungen Katzen bezeichnet. Die beiden Sätze: Das Auge ist zweckmäßig fürs Sehen; das Auge ist so eingerichtet, daß ziemlich genaue Gesichtswahrnehmungen möglich sind, besagen doch schließlich das gleiche, und der erste hat den Vorzug der Kürze.

Gewiß kann in der Naturwissenschaft mit Zweckbetrachtungen Mißbrauch getrieben werden; dies ist tatsächlich nicht selten geschehen. Aber das gleiche gilt von Kausalbetrachtungen, wie jede falsche Kausalerklärung beweist.

Wir wissen nicht, ob das Leben eines Unkrautes einen Zweck fürs Weltganze oder für die Pflanze selbst hat. Vielleicht kennt sie weder Schmerz noch Lust, weder Wünsche noch Ziele. Trotzdem dürfen wir sagen, daß ihre Blätter und Wurzeln ihrer Ernährung, ihre Blüten- und Fruchteinrichtungen ihrer Fortpflanzung dienen. Wenn diese Organe für die Erhaltung des Unkrautes, für die Verbreitung seiner Art besonders geeignet sind, so nennen wir sie zweckmäßig. Das bedeutet dem Wortlaut nach freilich: einem Zwecke angemessen, und wir müßten also etwa Erhaltung und Verbreitung des Unkrautes als einen Zweck betrachten. Indessen ist dies doch wohl nicht erforderlich, wenn wir jene Organe zweckmäßig nennen. Wir können dies Wort im übertragenen Sinne anwenden, um die Eignung der Organe für das Leben des Unkrautes auszudrücken. Solches Geeignetsein für das Leben, für die Lebensverhältnisse und -verrichtungen finden wir immer wieder in der Natur; dies Geeignetsein bezeichnen wir als Zweckmäßigkeit. Anpassung ist Zweckmäßigkeit im Hinblick auf besondere Umstände, die im Laufe der Artenentwicklung entstanden ist.

Selbstverständlich liegt keinerlei Widerstreit gegen kausale Betrachtung darin, wenn ich eine organische Einrichtung als zweckmäßig, d. h. als wohlgeeignet für gewisse Lebensverhältnisse und -verrichtungen, ansehe. Zweckmäßige Einrichtungen werden sich ebenso dem Kausalzusammenhang des Weltgeschehens einordnen wie irgendetwas Zweckloses oder Unzweckmäßiges.

Setzt die Selektionslehre die Entstehung des Zweckmäßigen voraus, anstatt sie zu erklären?

Wenn man in der Biologie die Existenz des Zweckmäßigen anerkennt, so muß man zu erklären versuchen, wie es zustande gekommen ist. Man pflegt nun gegen die Selektionslehre einzuwenden, sie setze die Entstehung des Zweckmäßigen voraus, anstatt sie zu erklären. In der Tat erklärt das Darwinsche Prinzip zunächst nicht die Entstehung der sogenannten ,,primären Zweckmäßig-

keit" (Wolff), die aller lebenden Substanz zukommt und schon den ersten irdischen Lebewesen eigen sein mußte. Sie ist in den Grundeigenschaften der lebenden Substanz, vor allem in der Assimilation, bereits gegeben, sofern letztere ja geeignet ist, das Leben durch Erzeugung neuen Plasmas zu erhalten und zu vermehren. Die Fähigkeit, sich zu erhalten und zu vermehren, die man als zweckmäßig bezeichnen kann, mußte bereits der lebenden Substanz zukommen, damit natürliche Zuchtwahl vor sich gehen konnte; die Entstehung jener Fähigkeit, überhaupt der Zweckmäßigkeit, die in den elementaren Eigenschaften der lebenden Substanz bereits liegt, kann daher nicht durch natürliche Selektion erklärt werden. Das heißt aber doch nur, daß durch Darwins Prinzip die Entstehung der (eben durch jene Grundeigenschaften charakterisierten) lebenden Substanz nicht erklärt wird; das Prinzip will aber gar nicht die Entstehung des Lebens erklären.

Es handelt sich vielmehr um die zweckmäßigen Neuerwerbungen, welche die Organismen in der Artenentwicklung machen. Freilich, auch hier erklärt die Selektionslehre nicht, wie die kleinen Verbesserungen zustande kommen, die ihren Trägern im Kampfe ums Dasein zum Siege verhelfen. Es wird einfach darauf verwiesen, daß Geschwister nicht gleich gut angepaßt sind, daß einzelne Nachkommen ihre Eltern an Anpassung ein wenig übertreffen. Wie dieser Vorzug, diese Zweckmäßigkeitssteigerung zustande kommt, erklärt die Selektionstheorie nicht. Der Zufall, d. h. ein für uns undurchschaubares Zusammenspiel von Ursachen, bringt es mit sich, daß es unter den Nachkommen sowohl zweckmäßiger wie unzweckmäßiger eingerichtete gibt. Die letzteren sterben; die ersteren überleben und übertragen den Zweckmäßigkeitsfortschritt, den sie dem Zufall verdanken, auf spätere Generationen. Nicht das Zustandekommen des Zweckmäßigkeitsfortschrittes wird erklärt, sondern seine Erhaltung, seine Übermittlung an die folgenden Generationen.

Aber damit macht die Selektionslehre doch gerade das verständlich, was am meisten erklärungsbedürftig ist. Daß bei den Nachkommen eines Individuums oder Paares auch kleine Verbesserungen, Zweckmäßigkeitsfortschritte vorkommen, ebenso wie zwecklose und zweckwidrige Abweichungen, ist nicht weiter erstaunlich; die Unterschiede der Kinder gegen die Eltern werden eben zum Teil Vorzüge, zum Teil Nachteile bedeuten. Erstaunlich und in hohem Maße erklärungsbedürftig ist aber die Häufung und Steigerung des Zweckmäßigen, die wir in der lebenden Natur finden. Man denke an die Einrichtung des Auges oder Ohres beim Menschen, an die Vorrichtungen, mit denen insektenfressende Pflanzen, wie die Kannenpflanzen (Nepenthes) oder die Venusfliegenfalle (Dionaea muscipula), ihre Opfer einfangen usw. Dergleichen konnte nicht ohne weiteres durch Zufall entstehen. Die Selektionshypothese besagt nun, daß die gehäufte und gesteigerte Zweckmäßigkeit das Ergebnis zahlreicher kleiner zufälliger Fortschritte ist; diese wurden durch den Kampf ums Dasein gleichsam ausgesiebt, indem nur die mit ihnen ausgestatteten Individuen überlebten, und dann durch Vererbung gesammelt.

Nicht gelegentliche, kleine Zweckmäßigkeitsfortschritte, wie sie der Zufall

hier und da bringen kann, sondern die wunderbar gesteigerten und gehäuften Zweckmäßigkeiten der lebenden Natur sind besonders erstaunlich und erklärungsbedürftig; die Selektionslehre erklärt die letzteren, indem sie sie auf die ersteren zurückführt. Dabei stößt sie freilich auf erhebliche Schwierigkeiten, von denen einiges hier anzudeuten ist. Es handele sich um die Umwandlung eines komplizierten Organes, z. B. des Vorderbeines, um seine Anpassung an eine neue Tätigkeit, etwa an die des Grabens, also um eine Anpassung, wie sie beim Maulwurf stattgefunden hat. Dabei muß sich nicht nur ein einzelner Teil, etwa ein Knochen, im Sinne der neuen Aufgabe zweckmäßig verändern; damit würde gar nichts erreicht, sondern nur die Harmonie, das Zusammenpassen der Teile des Beines gestört. Vielmehr müssen sich zahlreiche Knochen, Bänder, Muskeln, Nerven, Adern sowie die Haut des Beines erheblich verändern. Und dies muß so geschehen, daß einigermaßen gleichzeitig mit der Verbesserung des einen Teiles auch die der anderen auftritt; denn wenn zunächst nur ein oder einzelne Teile sich veränderten, so würde das keine Verbesserung, sondern eher eine Störung bedeuten, und eine solche partielle Veränderung würde somit leicht zum frühen Tode ihres Trägers führen und daher schwerlich den folgenden Generationen erhalten bleiben. Wie aber soll es der Zufall mit sich bringen, daß so viele Verbesserungen an so vielen Einzelteilen, Knochen, Bändern, Muskeln, Nerven, Adern usw. gleichzeitig oder fast gleichzeitig auftreten? Das erscheint ebenso unwahrscheinlich wie die Möglichkeit, daß ein Besitzer von 20 Lotterielosen gleichzeitig mit allen Losen gewinnt.

Das Koadaptationsproblem.

Es ist vieles versucht worden, um diese ernste, von Spencer, Nägeli u. a. hervorgehobene Schwierigkeit zu beseitigen. Doch bleibt das Problem des Zusammenkommens zusammengehöriger Veränderungen, das Koadaptationsproblem, ein wunder Punkt der Selektionslehre. Man ruft an dieser Stelle wohl das Lamarcksche Prinzip der direkten Anpassung der Organe an ihre Funktionen zu Hilfe.

Ähnlich wie beim Koadaptationsproblem liegt die Sache bei einer anderen Schwierigkeit der Selektionslehre. Letztere will, wie gesagt, die gesteigerte Zweckmäßigkeit, welche so erklärungsbedürftig erscheint, auf kleine Verbesserungsschritte zurückführen. Nun kann es aber vorkommen, daß die ersten Schritte, die zur Entstehung einer zweckmäßigen Einrichtung führen, an sich noch gar nicht zweckmäßig sind. Wenn sie aber keine Vorzüge bedeuten, dann werden ihre Träger nicht im Daseinskampfe begünstigt, dann werden solche Veränderungen durch natürliche Zuchtwahl nicht weiter entwickelt. Die zweckmäßigen Einrichtungen, zu denen sie die ersten Entwicklungsschritte darstellen, können also durch Selektion nicht zustande kommen.

Wenn der erste Ansatz zu einer Anpassung an sich nicht zweckmäßig ist, so kann diese nicht durch Selektion allein erklärt werden.

Diese Schwierigkeit tritt uns insbesondere dann zuweilen entgegen, wenn wir die Entstehung von Instinkten durch die Selektionshypothese erklären wollen. Der Kuckuck legt instinktiv seine Eier in die Nester fremder Vögel, läßt sie durch diese ausbrüten und von ihnen die Jungen ernähren. Das ist gewiß ein „zweckmäßiger" Instinkt, der den Kuckuck mancher Mühen enthebt, so daß er um so besser für sich selbst sorgen kann; und dabei sind zugleich seine Eier

und Jungen gut versorgt. Die ersten kleinen Schritte zur Entwicklung dieser Gepflogenheit mögen in dem Instinkt bestanden haben, den eigenen Nestbau, weiterhin das Brüten und die Versorgung der Jungen nachlässig zu betreiben (die Ahnen des Kuckucks werden auch eigene Nester gehabt, gebrütet und ihre Jungen gepflegt haben). Diese ersten Schritte zur Entwicklung des Kuckucksinstinktes erscheinen keineswegs zweckmäßig, sondern eher verderblich für die Nachkommenschaft, und man sollte meinen, Kuckucksfamilien, in denen so üble Instinktänderungen auftraten, hätten im Daseinskampfe bald untergehen müssen. Man versteht nicht, wie solche ersten Ansätze zum Kuckucksinstinkt durch Selektion weiter entwickelt werden konnten.

Auch hier kann man der Selektionslehre durch verschiedene Ergänzungsannahmen zu Hilfe kommen. Zuweilen läßt das Lamarcksche Prinzip die Fortentwicklung von Ansätzen verständlich erscheinen, die durch Selektion nicht wohl gefördert werden konnten. Man kann auch daran denken, daß hier und da einmal plötzlich starke Änderungen in der Organisation auftreten, die, wenn sie in günstiger Richtung erfolgen und erblich sind, sofort, unter Überspringung nutzloser oder geringwertiger Anfangsstufen, recht zweckmäßige Gebilde entstehen lassen. Doch wird dies wohl recht selten vorkommen; denn plötzliche starke Abweichungen eines Kindes von den Eltern sind nicht häufig und stellen überdies oft Mißbildungen dar. —

De Vries' Mutationslehre.

Die Selektionslehre setzt voraus, daß gewisse Abweichungen der Kinder von den Eltern erblich sind. Über die Natur und das Auftreten solcher Abweichungen herrschen verschiedene Ansichten. Unter ihnen ist besonders die Mutationstheorie des holländischen Botanikers de Vries bekannt geworden, deren Unterschiede gegenüber der ursprünglichen Darwinschen Lehre jedoch vielfach übertrieben worden sind. De Vries meint, daß jene Abweichungen der Kinder von den Eltern, mit denen Darwin in der Zuchtwahlhypothese rechnete, nicht vererbt werden; sie könnten dann natürlich für dauernde Umwandlungen, für die Entwicklung der Arten nicht in Betracht kommen. Den nicht-erblichen Abweichungen — als solche betrachtet de Vries die „fluktuierenden Variationen", mit denen Darwin operierte — stellt der holländische Botaniker die von ihm in ausgedehnten und sorgfältigen Züchtungsversuchen beobachteten, durchaus erblichen „Mutationen" gegenüber; die letzteren müßten die Abweichungen liefern, die im Daseinskampfe nach ihrem Anpassungsgrade ausgesiebt werden und der Entstehung neuer Arten zugrunde liegen. Während nach Darwin die Umänderung der Lebewesen von Generation zu Generation fortzuschreiten pflegt, treten die Mutationen nach de Vries nur von Zeit zu Zeit, in besonderen Mutationsperioden, auf, in denen gleichsam explosiv die Arten in neue „elementare Arten" zerfallen, während sie in der Zeit zwischen den Mutationsperioden keine erblichen Abänderungen erfahren. Vielfach stellt man sich die Mutationen als größere Sprünge vor gegenüber den kleineren Variationen, mit denen Darwin rechnete (der übrigens auch größere „Sprungvariationen", „Einzelvariationen", kannte); doch hat de Vries die Auffassung ausdrücklich abgewehrt, daß die Mutationen größere Sprünge darstellen müßten. Überhaupt ist der

Begriff der Mutation bei verschiedenen Forschern verschieden, und auch die de Vriesschen Mutationen sind nicht reinlich von anderen Abweichungen zu sondern, die ebenfalls erblich sein können. Jedenfalls ist es aber unberechtigt, wenn man, entgegen Darwins eigenen Darlegungen und Beispielen, die „fluktuierenden Variationen" des Begründers der Selektionstheorie als nicht-erblich ansieht. Übrigens besitzt de Vries bedeutende Verdienste um die genauere, experimentelle Untersuchung der Grundlagen der Abstammungslehre, um die Erforschung des Auftretens und der Vererbung neuer Eigenschaften, wenn auch seine Mutationslehre manchen Einschränkungen und Einwänden ausgesetzt sein mag, wie sie besonders von zoologischer Seite gemacht wurden.

Der von de Vries und anderen Forschern vor ihm (Gregor Mendel u. a.) und nach ihm eingeschlagene Weg des Züchtungs- und Vererbungsexperimentes verspricht jedenfalls, die Selektionshypothese und die ganze Entwicklungslehre immer mehr exakter Prüfung und Ausgestaltung zugänglich zu machen. Das Experiment kann zeigen, ob eine Abweichung etwas wirklich Neues darstellt oder nur eine bereits vorhandene, durch Vererbung übermittelte, verborgene Anlage offenbar werden läßt; es kann dartun, was erblich ist und was nicht, was die Selektion leisten, wie weit sie führen kann. Das Experiment wird auch die Lamarckismusfrage am sichersten lösen können, wird entscheiden können, welche im individuellen Leben erworbenen Eigenschaften und Anpassungen sich auf die Nachkommen übertragen, und in welchem Umfange direkte Anpassungen wirklich vorkommen.

Direkte Anpassung und selektionistische Erklärung derselben.

Zweckmäßigkeitsentwicklung und Beseelung. Psychovitalismus. Ohne Frage beobachtet man nicht selten, daß Lebewesen auf äußere Reize hin sich zweckmäßig verändern. Mäuse, die in kalten Räumen aufgezogen werden, bilden einen wämeren Pelz. Gewisse Raupen werden auf dunkler Rinde fast schwarz, auf hellbrauner braun und auf grünen Blättern grün; dies erscheint als nützlich, weil durch solche Farbanpassung die Raupen ihren Feinden leichter entgehen mögen. Pflanzen der Ebene nehmen bald gewisse Anpassungen der Pflanzen des Hochgebirges an, wenn sie dorthin versetzt werden, und umgekehrt. Ebenso paßt sich das Blut des Menschen durch Vermehrung bzw. Verminderung der roten Blutkörperchen dem Hochgebirge bzw. dem Tieflande an. Meeresalgen schützen sich vor zu starkem Licht durch dichte Behaarung (ähnlich wie Hochgebirgspflanzen) oder sie reflektieren einen Teil des Lichtes und erhalten dadurch einen prächtigen weißlichen, grünen oder blauen Glanz. Diese Anpassung entsteht schnell in starkem Licht und verschwindet im Dunklen bald wieder. Landpflanzen, die im Wasser aufwachsen, zeigen oft Merkmale, wie sie bei Wasserpflanzen sich finden; Wasserpflanzen entwickeln außerhalb des Wassers besondere Luftblätter. Auch bei Tieren beobachtet man direkte Anpassungen an das Land- und an das Wasserleben.

Die Zahl der Beispiele ließe sich leicht noch vermehren; es handelt sich keineswegs um seltene Erscheinungen. Darum liegt der lamarckistische Gedanke recht nahe, daß die angeborenen Anpassungen (wie der dichte Pelz der Polartiere, die schwärzliche oder braune oder grüne Farbe vieler Raupen, zweck-

mäßige Einrichtungen von Hochgebirgspflanzen usw.) allesamt oder zum Teil als erblich übertragene direkte Anpassungen zu betrachten sind. Wenigstens in denjenigen Fällen wird man diese Möglichkeit ins Auge fassen, in denen die Erklärung der Anpassungen durch das Selektionsprinzip sehr schwierig und bedenklich erscheint.

Nun bildet die direkte Anpassung für viele Naturforscher einen Stein des Anstoßes, und in der Tat ist die Fähigkeit der Lebewesen, auf äußere Einflüsse hin sich in zweckmäßiger, diesen angepaßter Weise zu verändern, recht geheimnisvoll. Diese Fähigkeit ist selbst etwas in hohem Maße Zweckmäßiges. Darum hat man versucht, auch sie, wie andere zweckmäßige Eigenschaften der Lebewesen, selektionistisch zu erklären. Wenn z. B. die Maus in kälterem Klima einen dichteren Pelz bekommt, so wäre anzunehmen, daß die Fähigkeit zu dieser Anpassung den Vorfahren der Maus durch den Kampf ums Dasein angezüchtet sei. Die Mäuseahnen hätten sich ein wenig unterschieden in der Art und Weise, in der sie sich auf Kälteeinwirkung hin veränderten. Diejenigen, die Kälteeinwirkung mit einer schwachen Verdichtung des Pelzes beantworteten, seien im Kampf ums Dasein begünstigt worden und hätten ihren Vorzug vererbt. So sei durch natürliche Zuchtwahl diese nützliche Fähigkeit der Pelzverdichtung gesteigert worden, derart, daß sie jetzt bei allen Mäusen leicht zu beobachten sei. Die Individuen, die diese Fähigkeit nicht hatten, seien in kalten Jahren ausgestorben. Was uns als direkte Anpassung in Staunen versetzt, wäre also in Wirklichkeit ein Selektionsergebnis, ein Resultat indirekter Anpassung.

Schwierigkeit der selektionistischen Erklärung direkter Anpassungen, insbesondere der Regenerationen.

Allerdings will diese Zurückführung der direkten Anpassungen auf indirekte, auf Selektion, doch nicht immer gelingen. Wir wollen dies an den Regenerationserscheinungen erläutern, die man den direkten Anpassungen zuzählen darf. Natürlich ist es für die Molche von Nutzen, daß sie abgebissene Glieder neu zu bilden vermögen. Es handelt sich also auch hier um zweckmäßige Reaktionen der Organismen, die durch äußere Einwirkungen, hier durch Verletzungen, hervorgerufen werden; wir dürfen die Regenerationen als Anpassungen auffassen, und zwar als direkte, weil das von der äußeren Einwirkung betroffene Individuum auf diese unmittelbar mit der zweckmäßigen Reaktion, mit der Anpassung antwortet. Darwinisten haben nun versucht, auch die Regenerationsfähigkeit auf Selektion zurückzuführen. Die selektionistische Erklärung klingt zunächst ganz plausibel: Jede kleine Steigerung der Regenerationsfähigkeit erscheint nützlich; sie wird daher im Kampf ums Dasein ausgesiebt und auf die Nachkommen übertragen werden. Die Vertreter der selektionistischen Auffassung haben sich darauf berufen, daß die Regenerationsfähigkeit bei solchen Arten und Körperteilen, die häufiger Verletzungen ausgesetzt sind, am besten ausgebildet sei; indessen ist dies nicht bewiesen. Man mag zugestehen, daß durch Selektion die Regenerationsfähigkeit gelegentlich gefördert werden konnte. Doch wird man schwerlich die ganze Entwicklung der Regenerationsfähigkeit selektionistisch erklären können. Zunächst erscheinen vielfach die ersten Schritte bei der Entwicklung bzw. Steigerung der Regenerationsfähigkeit ziemlich unnütz. Gewiß war es für die Ahnen der Eidechse oder des Molches nützlich,

wenn nach Verlust des Schwanzes oder Beines die Wunde heilte. Aber welchen Nutzen soll es für die Eidechsenahnen gehabt haben, daß nach Abbeißen des Schwanzes hinter der Wundstelle ein Stummel von 1, 2 oder 3 mm regenerierte? Welchen Wert hatte es für die Ahnen des Molches, wenn an Stelle des abgebissenen Vorderbeines ein winziges, unausgebildetes Ding hervorwuchs? Eine so unvollkommene Regeneration kann schwerlich im Daseinskampfe so oft über Leben und Tod entschieden haben, daß die Fähigkeit zu solcher Stummelbildung ausgesiebt, vorzugsweise vererbt und gesteigert werden konnte. Man muß bedenken, daß die unverletzten Individuen den derart regenerierenden gegenüber jedenfalls erheblich im Vorteil waren, mochte den ersteren die Fähigkeit zur Regeneration nun mehr oder weniger zukommen oder fehlen; die regenerierenden mußten also im Daseinskampfe trotz ihrer Fähigkeit viel häufiger unterliegen.

Bedenklich für die selektionistische Auffassung ist es ferner, daß auch Teile regeneriert werden, deren Verletzung und Regeneration im natürlichen Leben nicht vorkommen wird. Ganz künstliche Verletzungen und Störungen, die nur im Laboratorium, nicht aber in der freien Natur einem Organismus zugefügt werden können, werden durch Regeneration beseitigt. Die Fähigkeit dazu kann nicht leicht in der freien Natur durch Selektion entstanden sein, weil sie ja im Daseinskampf nicht zur Geltung kam.

Wir können hier die Schwächen der selektionistischen Erklärung der Regeneration und anderer direkter Anpassungen nicht weiter verfolgen und auch nicht die Gründe anführen, mit denen diese Erklärungsweise verteidigt werden kann. Die Schwierigkeiten, die ihr im Wege stehen, sind jedenfalls sehr groß. Darum wird es angebracht sein, nach anderen Wegen zur Erklärung der direkten Anpassung Ausschau zu halten. Da fällt nun unser Blick auf eine Gruppe von direkten Anpassungen, die uns sehr vertraut sind, und in deren Zustandekommen wir einen gewissen Einblick haben; wir meinen menschliche und tierische Handlungen. Wenn Kälte auf mich einwirkt, so ziehe ich einen wärmeren Rock an; das ist ebensogut eine direkte Anpassung, wie wenn die Maus einen wärmeren Pelz hervorbringt, wenn sie einer kälteren Umgebung ausgesetzt wird. Menschliche und tierische Handlungen sind Reaktionen, durch die das von irgendwelchen Einwirkungen getroffene Individuum sich letzteren anpaßt; sie stellen also direkte Anpassungen dar. Das Studium ihres Zustandekommens kann uns vielleicht weiterführen in der Erklärung anderer Formen der direkten Anpassung.

Menschliche und tierische Handlungen als direkte Anpassungen.

Beim Zustandekommen der Zweckmäßigkeit unseres Handelns sind offenbar seelische Faktoren im Spiel. Je höher die seelischen Fähigkeiten eines Lebewesens entwickelt sind, um so zweckmäßiger weiß es (im allgemeinen) sein Verhalten einzurichten. Die selbsttätige Entwicklung des Zweckmäßigen erschien uns als ein besonders charakteristisches Merkmal der lebenden Wesen. Ferner trat uns die Beseelung als eine der wesentlichsten Lebenserscheinungen entgegen. Unsere Betrachtungen führen uns nun zu dem Gedanken, daß beides, die Zweckmäßigkeit und die Beseeltheit der lebenden Natur, vielleicht aufs engste zusammenhängen, daß die erstere in der letzteren wurzeln kann. Wenn sich diese Vermutung aber zu einer wohlbegründeten Hypothese erheben läßt,

so liegt weiterhin die Auffassung nahe, daß die Beseeltheit das eigentliche Wesen des Lebens ausmacht, daß alle die anderen wunderbaren Fähigkeiten der Organismen, die Erblichkeit, die Regeneration usw., auf dem Besitze seelischer Anlagen beruhen. —

Entstehung einfacher zweckmäßiger Handlungen beim Kinde durch Probieren und Behalten.

Betrachten wir nun die Entstehung zweckmäßiger, angepaßter Handlungen etwas genauer. Wir werden gut tun, das verwickelte, wenig durchsichtige Verhalten des erwachsenen Menschen vorerst beiseite zu lassen, und die Entwicklung einfacher zweckmäßiger Handlungen beim Kinde zu beobachten. Es mag z. B. ein kleines Kind in seinem Bettchen auf einem schmerzhaft drückenden harten Gegenstande liegen. Infolge der schmerzhaften Reizung wird das Kind anfangen zu weinen und mit den Händen und Füßen allerhand ziellose Bewegungen auszuführen. Wenn das nicht hilft, so wird es noch heftigere Bewegungen machen und sich schließlich hin und her wälzen. Dadurch wird es von der schmerzhaften Reizung befreit. Passiert nun dieselbe Sache dem Kinde mehrfach, so wird es aus seinen Erfahrungen lernen; es wird schließlich nicht erst lange schreien und zappeln, sondern sogleich die befreiende Verschiebung des Körpers vollziehen. Dann ist sein Verhalten offenbar den äußeren Verhältnissen angepaßt; es ist zweckmäßig geworden.

Wie ist diese Zweckmäßigkeit zustande gekommen? Wir können kurz sagen: nach dem Prinzip des Probierens und Behaltens. Das Kind hat erst alle möglichen Reaktionen, wie Schreien, Zappeln usw., durchprobiert (natürlich nicht in bewußter Absicht) und die zufällig erfolgreiche, das Fortwälzen, dann im Gedächtnis festgehalten, sodaß diese nach hinreichenden Wiederholungen, nach genügendem Lernen, sofort eintritt, wenn die betreffende äußere Einwirkung wiederkehrt. Eine zweckmäßige Handlung entsteht so aus allerhand ziellosen „Probierbewegungen", indem die zufällig nützliche Bewegung vom Gedächtnis festgehalten und gleichsam ausgewählt wird. Darin liegt die sogenannte „Selektion aus überproduzierten Bewegungen", das Erlernen des Angepaßten auf Grund der „Methode von Versuch und Irrtum".

Nicht alles Zweckmäßige im Verhalten des kleinen Kindes kommt in dieser Weise zustande; manche zweckmäßigen Reaktionen, wie z. B. das Saugen, brauchen nicht erst durch Probieren erlernt zu werden, weil sie angeboren sind. Aber das Verfahren des Probierens und Behaltens bildet die Grundlage für das nicht angeborene, sondern vom Individuum selbst erworbene Zweckmäßige im menschlichen Verhalten und für die Vervollkommnung des Angeborenen. Durch Probieren und gedächtnismäßiges Festhalten der zufällig erfolgreichen Bewegungen lernt das Kind Gegenstände ergreifen, sprechen, sich ankleiden usw., wobei allerdings durch Nachahmung und durch die Hilfe der Eltern der Probiervorgang vielfach abgekürzt wird. Das beständige Herumprobieren des Kindes mit den eigenen Gliedern und mit allen möglichen Dingen verschafft ihm einen reichen Schatz nützlicher Erfahrungen.

Probierverfahren und Behalten bei Tieren, insbesondere bei Einzelligen.

Das Probierverfahren bedeutet nun neben dem Angeborenen und Instinktiven auch in der Tierwelt die Grundlage für das Zweckmäßige im Verhalten. Das kann man z. B. bei jedem jungen Hunde beobachten. Ein Hund lernt

etwa das Öffnen einer Tür, indem er zunächst allerhand Bewegungen und Sprünge vor derselben macht. Bei solchen Probierbewegungen kann es vorkommen, daß er die Klinke zufällig niederdrückt und so seinen Zweck erreicht. Das Gedächtnis des Hundes hält nun die erfolgreiche Bewegung fest; bei einem neuen Versuche kann daher das Probieren schon erheblich abgekürzt werden; nach genügenden Wiederholungen fällt es ganz fort, und der Hund vollzieht sofort die zweckmäßige, angepaßte Bewegung.

Das Probierverfahren stellt ein im Tierreich allgemein verbreitetes Verhalten dar. Schon bei einzelligen Tieren ist es häufig zu beobachten, wie insbesondere der amerikanische Zoologe Jennings festgestellt hat. Wenn man auf das Aufgußtierchen Stentor (Trompetentierchen) Pulverpartikelchen herabfallen läßt, so vollzieht es zunächst seitliche Biegungen; wird es weiter von den kleinen fallenden Teilchen getroffen, so kehrt es die Bewegung seiner Wimpern um; fernerhin zieht es sich in seine Schleimröhre zusammen; wenn auch dies nicht vor dem Pulver schützt, so trennt es sich von seinem Standort und kommt so aus dem Bereich der fallenden Teilchen. Das Trompetentierchen probiert also eine Reihe von Bewegungen durch, um die Einwirkung des Pulvers loszuwerden, bis es schließlich die zweckmäßige Reaktion im Standortwechsel findet. Von besonderer Bedeutung ist nun, daß bei baldiger Wiederholung des Versuches das Trompetentierchen nicht wieder alle die genannten Bewegungen durchprobiert, sondern sofort die erfolgreiche Reaktion, den Standortwechsel, vollzieht. Es hat also den Anschein, daß dies einzellige Wesen aus seinen Probierbewegungen lernt, ähnlich wie ein Hund oder auch ein Kind. Freilich wäre eine genauere Untersuchung der Frage, ob Einzellige zu lernen imstande sind, ob Gedächtnis bei ihnen nachweisbar ist, dringend erwünscht. —

Die Vorgänge, aus denen sich das menschliche und tierische Handeln zusammensetzt, sind in erster Linie Bewegungen. Doch können äußere Einwirkungen von den Lebewesen auch mit anderen Prozessen beantwortet werden, z. B. mit Absonderungen von Flüssigkeiten. Eine Reizung des Auges durch ein Staubkörnchen kann sowohl eine Bewegungsreaktion des Augenlides wie die Reaktion des Tränenflusses hervorrufen. Bewegungsreaktionen und Drüsenabsonderungsreaktionen gehören offenbar im Prinzip durchaus zusammen, wie sie auch vielfach verbunden auftreten. Schließlich bilden aber alle Reiz-Reaktionsvorgänge bei Lebewesen eine zusammengehörige Gruppe, der sich überaus zahlreiche und wichtige Lebensverrichtungen einordnen.

Entstehung anderer zweckmäßiger Reaktionen durch Probieren und Behalten.

Wenn wir nun sehen, daß die Zweckmäßigkeit von Bewegungsreaktionen vielfach auf dem Probierverfahren und auf gedächtnismäßigem Behalten beruht, dann liegt die Auffassung nahe, daß der Anpassungscharakter anderer Reaktionen in gleicher Weise erklärbar sei. Wenn einzellige Wesen probieren und behalten und auf diesem Wege zweckmäßige Reaktionen erlernen können, dann darf man den Zellen und Zellverbänden, den Organen der vielzelligen Wesen wohl Ähnliches zutrauen. Nach der vorherrschenden Form der Entwicklungslehre sollen die Vielzelligen, also auch alle ihre Organe und Zellen, von einzelligen Lebewesen abstammen; dann werden diese Organe und Zellen vielleicht auch

durch Probieren lernen können, wie die Einzelligen. Wenn z. B. Drüsen gewisse Einwirkungen mit zweckmäßigen, wohlangepaßten Reaktionen beantworten, so sind sie dazu vielleicht dadurch befähigt, daß sie durch Probieren mehrerer Absonderungsweisen die richtige herausgefunden und diese durch ihr Gedächtnis festgehalten haben.

Wenn man von probierenden und lernenden Drüsen spricht, so klingt das vielen zunächst gewiß geradezu lächerlich. Doch warum soll die Drüsenzelle nicht können, was ein einzelliges Wesen kann: probieren und daraus lernen. Wir müssen uns von dem Vorurteil befreien, daß nur die nervösen Zellen der Großhirnrinde derartiges leisten können. Das Großhirn dient der Vervollkommnung des Probierens und des gedächtnismäßigen Behaltens; aber es ist für ein bescheidenes Probieren und Lernen nicht unentbehrlich, wie die Erfahrung an großhirnlosen Tieren beweist. Wahrscheinlich sind auch die Nervenzellen dafür nicht unentbehrlich, sondern sie ermöglichen nur eine Steigerung dessen, was die verschiedensten Zellen auch schon können.

In der Tat gewinnt man aus Versuchen Pawlows den Eindruck, daß die Bauchspeicheldrüse allmählich lernt, die Verdauungssäfte, die sie in den Darmkanal fließen läßt, verschiedenen Ernährungsarten anzupassen.

Ein Lernen findet vielleicht auch bei Abwehrreaktionen statt, durch die der Organismus Krankheiten überwindet. Das Überstehen mancher Krankheiten, z. B. der schwarzen Pocken, gibt einen gewissen Schutz gegen dieselben; man erkrankt nicht leicht zum zweiten Male an einem solchen Leiden, oder wenn man wieder von ihm befallen wird, so wird es schneller überwunden als beim ersten Mal. Dies beruht zum Teil darauf, daß bei der ersten Erkrankung Schutzstoffe gebildet werden, die zur Überwindung des Feindes dienen und dann im Körper zurückbleiben, so daß sie noch nach langer Zeit Neuerkrankung verhindern oder erschweren. Manches spricht aber dafür, daß in dieser oder in ähnlicher Weise keine vollständige Erklärung möglich ist; vielleicht lernen die mit der Abwehr einer solchen Krankheit betrauten Zellen (die weißen Blutkörperchen usw.) etwas bei der Überwindung der ersten Erkrankung, so daß sie eine Neuerkrankung gar nicht aufkommen lassen oder ihrer doch leichter Herr werden.

Auch die Regenerationen sind zweckmäßige Reaktionen, welche dazu dienen, Krankhaftes, nämlich Verstümmlungen, zu beseitigen. Man hat mehrfach beobachtet, daß eine Regeneration, die derselbe Organismus wiederholt ausführt, schließlich schneller und glatter verläuft, also sozusagen erlernt wird.

Nun besteht allerdings zwischen diesem Erlernen von Drüsenfunktionen, Krankheitsabwehrreaktionen und Regenerationen einerseits und dem Erlernen von angepaßten Bewegungen, wie wir es geschildert haben, andererseits für unsere Beobachtung ein erheblicher Unterschied. Bei der Ausbildung von Bewegungsreaktionen beobachten wir vielfach ein deutliches Probieren; bei Drüsenreaktionen, Krankheitsabwehrreaktionen und Regenerationen ist dagegen ein Probieren verschiedener Reaktionen nicht sicher zu beobachten. Bei Regenerationen finden allerdings zuweilen Prozesse statt, die als tastende Ver-

suche gedeutet werden könnten. Und wenn bei Drüsen-, Krankheitsabwehr- und ähnlichen Reaktionen ein Probieren nicht zu beobachten ist, so kann ein solches trotzdem stattfinden. Man denke nur daran, wie Krankheiten anfangs sich verschlimmern, bis sie dann vor den Abwehrreaktionen zurückweichen. Der Gedanke liegt nahe, daß der erkrankte Organismus Zeit braucht, um die richtige Abwehrreaktion durch Probieren zu finden. So mag es kommen, daß die Krankheit, die anfangs vordrang, nun doch noch überwunden wird, obgleich sie inzwischen sich ausgedehnt und verschlimmert und den Körper geschwächt hat.

Angeborene zweckmäßige Reaktionen. Ihre Entstehung durch Probieren und Behalten bei den Vorfahren („Psycholamarckismus").

Beim Vergleich des Lernens von Bewegungen mit demjenigen von Drüsenreaktionen usw. ist aber noch etwas anderes zu berücksichtigen. Bei letzteren mag das Probieren darum zurücktreten, weil die richtige Reaktionsweise bereits angeboren ist. Das Lernen beschränkt sich dann auf die Vervollkommnung des Angeborenen durch Übung. Dabei mag allerdings das Probieren doch eine Rolle spielen, wenngleich diese nicht ins Auge fällt. Bei der wiederholten Ausführung einer angeborenen Reaktion wird diese sich bald in weniger zweckmäßiger, bald in geschickterer Weise vollziehen; das Gedächtnis hält die beste Ausführungsweise fest. So werden z. B. angeborene Bewegungsreaktionen vervollkommnet; so lernen junge Vögel das ihnen angeborene Fliegen durch Probieren besser und besser. In entsprechender Weise mögen aber auch alle möglichen anderen angeborenen Reaktionen verbessert werden.

Ebenso werden auch nicht-angeborene, sondern durch Probieren und Behalten im Leben erlernte Handlungen durch weiteres Probieren vervollkommnet. Wenn ein Hund einmal ungefähr herausgefunden hat, wie man eine Tür öffnet, so lernt er bei neuen Versuchen mehr und mehr das zweckmäßigste Verfahren kennen. Beim Erlernen einer Handfertigkeit, eines Sportes usw. können wir analoge Beobachtungen machen.

Nun wollen wir uns einmal der lamarckistischen Lehre von der Vererbung des im individuellen Leben Erworbenen erinnern. Lassen wir diese gelten, so liegt der Gedanke ganz nahe, daß auch angeborene zweckmäßige Reaktionen (Reflexe und Instinkte) einst durch Probieren erlernt worden sind; sie haben sich dem Gedächtnis der lebenden Substanz so fest eingeprägt, daß sie von den Eltern auf die Kinder erblich übertragen werden und von diesen darum nicht neu erlernt, sondern höchstens durch Übung vervollkommnet zu werden brauchen. Der Unterschied zwischen solchen angeborenen und den vom Individuum neu erlernten Reaktionen würde nur darin liegen, daß bei ersteren das Probieren und Lernen im wesentlichen weiter zurückliegt, bereits von den Ahnen besorgt worden ist.

So mögen überaus zahlreiche zweckmäßige Lebensvorgänge, die gegenwärtig den Organismen angeboren sind, einst durch Probieren erlernt worden sein. Zu den zweckmäßigen Lebensvorgängen sind aber auch schließlich die gestaltbildenden Prozesse zu rechnen, die zu zweckmäßigen Einrichtungen am Organismus führen. Man denke an jene Wachstumsvorgänge, welche die Extremitäten des Maulwurfes zu Grabschaufeln werden lassen. Bei den Maulwurfahnen, die die unterirdische Wühlarbeit begannen, mögen durch die

dabei sich ergebenden äußeren Einflüsse verschiedenartige kleine Umbildungen der Füße hervorgerufen worden sein; die nützlichen Veränderungen wurden festgehalten und weiter vervollkommnet. So paßte sich die Maulwurfextremität „direkt“, ohne Darwinsche Zuchtwahl, der neuen Funktion an, indem verschiedene Modifikationen der Extremität sozusagen probiert wurden — was bei verschiedenen Individuen im Laufe vieler Generationen geschehen konnte —, und indem das Gedächtnis der lebenden Substanz nützliche Veränderungen festhielt.

Wir können diese Lehre als Psycholamarckismus bezeichnen. Sie ist lamarckistisch, weil sie eine „direkte“ Anpassung des Individuums an die Lebensverhältnisse, überhaupt an Reize, annimmt, und weil sie mit der Erblichkeit der vom Individuum erworbenen Anpassungen rechnet. Wir nennen die Lehre psycho-lamarckistisch, weil seelische Faktoren, wie das Gedächtnis, bei der Entstehung der direkten Anpassungen nach ihr von grundlegender Bedeutung wird. Übrigens hat Lamarck selbst dabei schon seelische Faktoren mitspielen lassen. Diese hat dann Pauly, der als der eigentliche Begründer des Psycholamarckismus gelten darf, energisch betont. Seine Auffassung hat viele entschiedene Gegner und nur wenige Anhänger gefunden; in der Tat ist Pauly im Ausbau seiner Hypothese nicht sehr glücklich gewesen. Der Grundgedanke Paulys erscheint mir jedoch sehr bedeutsam; er hat sich mehreren Forschern aufgedrängt, die von verschiedenen Erfahrungstatsachen ausgingen. Langsam scheint er gegenwärtig an Boden zu gewinnen. Wir wollen ihn noch einmal kurz wiedergeben: Ein neuer Einfluß wirke auf einen Organismus. Dieser empfindet irgendwie die Reizung und antwortet auf dieselbe mit den Mitteln und Reaktionen, die ihm zur Verfügung stehen. Ergibt sich dabei zufällig etwas Zweckmäßiges, findet sich ein dem neuen Einfluß angepaßtes „Mittel“, so empfindet der Organismus dessen günstige Wirkung. Sein Gedächtnis hält das nützliche unter den Mitteln, die zweckmäßige Reaktion, fest und bringt sie bei Wiederholung des Einflusses alsbald in Anwendung. Durch weiteres Probieren werden die Mittel und Reaktionen beim Individuum und seinen Nachkommen, auf die sie vererbt werden, immer weiter ausgebildet und vervollkommnet.

Man erkennt ohne weiteres, daß der Psycholamarckismus in enger Beziehung zu dem bereits dargelegten Ausnutzungsprinzip steht. Durch Probieren kommt eben der Organismus dazu, die Mittel auszunutzen, die ihm zur Verfügung stehen. Welche Bedeutung die nach psycholamarckistischer Auffassung durch Probieren und Behalten erzielte Ausnutzung eines im Besitze des Organismus befindlichen Mittels haben könnte, erkennt man vielleicht, wenn man bedenkt, in wie vielseitiger Weise z. B. das Mittel der Speicheldrüse ausgenutzt wird. Speichel dient zum Einschmieren der zu verschlingenden Nahrung, als klebriges Fangmittel, zur Befeuchtung trockener, zur Verdünnung scharfer oder schlecht schmeckender Nahrung, als Verdauungssaft, als Lösungsmittel, als Futtermittel für die Brut, als Gift, als Baumaterial (nach H. Jordan). Die Annahme liegt nahe, daß die tierischen Organismen diese Verwendungs- oder Ausnutzungs-

möglichkeiten der Speicheldrüsen durch Probieren und Zufall erlernt, durch das Gedächtnis festgehalten und durch fortgesetzte Übung vervollkommnet haben.

Die seelischen Faktoren, die der Psycholamarckismus annehmen muß, können so primitiv sein, daß man sie allen Zellen und Organen zuschreiben darf.

Die seelischen Regungen, die sich z. B. bei der Anpassung unserer Bauchspeicheldrüse an unsere Ernährungsweise geltend machen mögen, brauchen uns nicht zum Bewußtsein zu kommen. Die Psychologen sind ja vielfach zu der Überzeugung gelangt, daß zahlreiche seelische Vorgänge außerhalb unseres Bewußtseins verlaufen, der Selbstbeobachtung unzugänglich sind.

Schwierigkeiten des Psycholamarckismus.

Es muß bemerkt werden, daß die dargelegte Erklärung der direkten Anpassung vielfach auf ernste Schwierigkeiten stößt. Immer wenn das günstige Ergebnis einer Probierreaktion dieser erst nach längerer Zeit folgt, ist zu befürchten, daß der Organismus garnicht merkt, daß jene Probierreaktion es war, welche den Erfolg brachte. Bei der Erlernung von Handlungen tritt der Erfolg sehr oft unmittelbar nach der zweckmäßigen Reaktion ein. Die Tür, durch die der Hund ins Freie gelangen will, öffnet sich sofort, wenn er richtig auf die Klinke drückt; da setzt sich im Gedächtnis der Zusammenhang zwischen dem Erfolg und der erfolgreichen Handlung fest. Falls aber die Tür erst nach einer Stunde aufspränge, wenn der Hund zufällig die richtige Bewegung gemacht hätte, dann würde er garnicht diese Bewegung und ihren Erfolg in Zusammenhang bringen. Nun tritt der Erfolg zweckmäßiger Reaktionen oft erst lange Zeit nach diesen ein; wie soll da der Organismus durch Probieren lernen, welche Reaktion den Erfolg bringt? Wenn z B. bei einem jungen Raubtier die Krallen etwas stärker sich entwickeln, was dann nachher dem herangewachsenen Tier von Nutzen ist, so kann doch der Organismus nicht leicht diesen Nutzen und jene Entwicklungsänderung in Zusammenhang bringen.

Der Psycholamarckismus wird daher auch auf Hilfshypothesen angewiesen sein. Darum erscheint es kaum angebracht, wenn Psycholamarckisten vielfach die Unterstützung durch die Darwinsche Selektionslehre schroff ablehnen. Man wird vielmehr bestrebt sein müssen, die verschiedenen Hypothesen zur Erklärung der organischen Zweckmäßigkeit zu vereinen. Letztere tritt uns in so gewaltiger Mannigfaltigkeit entgegen, daß die Auffassung, sie habe sich auf verschiedenen Wegen herausgebildet, durchaus berechtigt erscheint. Übrigens lassen sich die Darwinsche Selektionshypothese und der Psycholamarckismus sehr gut zusammenfügen. Der letztere erklärt am ungezwungensten die Entstehung von zweckmäßigen Reaktionen und Funktionen, von Instinkten, Reflexen u. dgl., wie Saugen, Nießen usw., die vielfach der selektionistischen Auffassung sehr unbequem liegen. Die Selektionstheorie dagegen erscheint überlegen, wo es sich nicht um Funktionen, sondern um mehr oder weniger passive Anpassungen handelt, um zweckmäßige Merkmale und Einrichtungen, die nicht sowohl durch eine aktive Tätigkeit als durch ihr bloßes Vorhandensein nützen. Hierher gehören z. B. wunderbar angepaßte Schutz-

Verbindung des Darwinschen Selektionismus mit dem Psycholamarckismus.

färbungen, die etwa einen Schmetterling vielfach vor seinen Verfolgern sichern, indem sie ihn einem trockenen Blatt ungemein ähnlich erscheinen lassen. Man kann sich sehr gut vorstellen, daß die Vorfahren des Blattschmetterlings (Kallima) einem trockenen Blatt im Laufe der Generationen immer ähnlicher wurden, indem immer wieder die blattähnlichsten ihren Feinden entgingen, sich fortpflanzten und ihre Färbung und Gestalt vererbten. Dagegen kann man sich nicht gut denken, wie ein solches Resultat durch Probieren von seiten des Schmetterlingsorganismus zustande gekommen sein könnte.

Die beiden Hypothesen ergänzen sich also, indem die eine dort eintritt, wo die andere versagt. Vielfach mögen bei der Entstehung einer Anpassung Auslese im Daseinskampfe und Probieren und Behalten zusammengewirkt haben, indem einerseits das Organ durch Darwinsche Selektion, andererseits seine Funktion durch das Probierverfahren entwickelt wurde; dabei wirkte dann zugleich die Organbildung auf die Funktion und die Funktion auf die Organbildung ein. So mag man sich etwa die Anpassung der Bewegungsorgane ans Laufen, Schwimmen, Fliegen, Springen, Greifen usw. erklären.

Die Bedeutung, die man bei solcher Verbindung der Hypothesen dem Psycholamarckismus beilegt, wird davon abhängen, wie viel man den seelischen Fähigkeiten der lebenden Substanz zutraut. Denkt man sich ihr Gedächtnis recht leistungsfähig, so kann man sich ein Zusammenwirken des Probierverfahrens mit Darwinscher Selektion in der durch folgendes Beispiel angedeuteten Weise vorstellen. Im Laufe vieler Generationen, in welchen eine behaarte Tierart Kälteperioden (Winter) erlebte, registrierte das Gedächtnis der lebenden Substanz einzelner Exemplare, die zufällig während der Kälte oder infolge derselben sich etwas stärker behaarten, die wohltätige Wirkung dieser Pelzverdichtung bei Kälte. So lernten einzelne Tiere, auf Kälte mit Verstärkung des Pelzes zu antworten; das Erlernte übertrug sich auf ihre Nachkommen und wurde bei diesen weiter ausgebildet, da ihre Haut bei Kälte alsbald wiederum erfuhr, wie angenehm die ererbte Pelzverdichtungsreaktion wirkte. Zu dieser Ausbildung der Anpassung bei einigen Exemplaren kam aber ihre Bevorzugung im Daseinskampf hinzu; die Tiere der gleichen Art, welche auf Kälte nicht mit Pelzverdichtung zu antworten lernten, erlagen immer mehr in harten Kälteperioden. So blieben schließlich nur die zur Pelzverdichtung Befähigten übrig. Kommen sie in kältere Zonen, so werden sie sich denselben „direkt“ durch bessere Pelzbildung anpassen, weil sie, bzw. ihre Vorfahren, diese Reaktion bereits erlernt haben. Eine zufällige nützliche Errungenschaft kann also in doppelter Weise vor zwecklosen oder schädlichen Änderungen bevorzugt werden: einmal direkt, indem die lebende Substanz ihren Wert verspürt und sie darum gedächtnismäßig festhält, andererseits indirekt, indem die mit dem Fortschritt ausgestatteten Individuen im Daseinskampfe ausgesiebt werden.

Der Psycholamarckismus ist im Grundgedanken dem Darwinschen Selektionsprinzip nahe verwandt. Das tritt deutlich hervor, wenn wir ersteren noch etwas weiter fassen, als es bisher geschehen ist: Zufällig entstehe etwas Zweckmäßiges, oder etwas bereits am Organismus Vorhandenes finde zufällig

zweckmäßige Verwendung. Nach psycholamarckistischer Lehre empfindet die lebende Substanz den Vorteil, und sie hält das zufällig Zweckmäßige darum gedächtnismäßig fest; sie steigert es womöglich. Wenn dagegen etwas Zweckloses entsteht, so wird es nicht von der lebenden Substanz gedächtnismäßig fixiert oder gar gesteigert; es kommt daher nicht zur Ausgestaltung. Ebenso rechnet die Darwinsche Selektionslehre mit der zufälligen Entstehung des Zweckmäßigen. Nach Darwin wird dasselbe jedoch nicht durch Wahrnehmung und Gedächtnis ausgelesen und festgehalten, sondern durch den Daseinskampf ausgesiebt; das Zwecklose und Zweckwidrige verschwindet, weil seine Träger im Leben nicht bestehen können. Wie bei Probierreaktionen unter vielem Ungeeigneten zufällig Zweckmäßiges auftritt, so auch bei den Unterschieden, welche Geschwister aufweisen. Wenn die Natur die Nachkommen eines Individuums oder Paares verschieden ausfallen läßt, so ist das sozusagen auch ein Probieren. Was dabei an Zweckmäßigem herauskommt, kann durch den Daseinskampf oder durch Verspüren und Behalten ausgesondert werden.

Das Festhalten wertvoller Änderungen geschieht nach der Darwinschen Hypothese durch Vererbung, nach der psycholamarckistischen zunächst durch das Gedächtnis der lebenden Substanz, weiterhin dann auch durch Vererbung. Dieser Unterschied fällt aber fort, wenn wir mit der Mnemelehre die Vererbung als Gedächtniserscheinung betrachten. Ein Organismus habe eine neue Reaktion erlernt und behalte sie vermöge seines Gedächtnisses; wenn nun diese Reaktion vererbt wird, so liegt die Auffassung sehr nahe, daß darin ein Behalten über die Schranken des Individuums hinaus liege; die Kinder sind ja nichts anderes als Teile, die sich vom elterlichen Organismus losgelöst haben und dann zu gleichartigen Organismen herangewachsen sind. Sie mögen vom Gedächtnisbesitz der Eltern mitnehmen, was äußerst fest eingeprägt war. Wenn nun aus einer Eizelle wiederum ein ganzer Organismus sich entwickeln kann, der die elterliche Gestalt wiederholt, so kann man dies daraus erklären, daß die Eizelle als Teil des elterlichen Organismus dessen Entwicklung und Gestalt im Gedächtnis behält. Dies Gedächtnisbild des Entwicklungszieles, der Gestalt, zu der sich die Ahnen immer wieder geformt haben, dient der Eizelle als Vorbild, dem sie zustrebt auf dem Wege, den ihr das Gedächtnis als denjenigen ihrer Vorfahren übermittelt hat. Insbesondere Semon hat diese ansprechende Gedächtnishypothese der Vererbung ausgebaut und gestützt, indem er darauf hinwies, daß zahlreiche Übereinstimmungen zwischen dem gedächtnismäßigen Wiederaufleben und der Reproduktion durch Fortpflanzung und Vererbung bestehen.

Die Vererbung als Gedächtniserscheinung („Mnemelehre“)

Das eigentlich Wunderbare bei der Fortpflanzung liegt in der Vererbung; es liegt darin, daß aus der Fortpflanzungszelle, aus einem kleinen Bruchstück des elterlichen Organismus, dieser mit allen seinen wesentlichen Einrichtungen wiederersteht. Die geheimnisvolle Fähigkeit der Reproduktion, die die lebenden Wesen von allen Maschinen unterscheidet, wird von der Mnemelehre auf die Gedächtnisreproduktion zurückgeführt, auf die seelische Fähigkeit, die sich im Wiedererstehen früherer Erlebnisse in unserer Erinnerung offenbart.

Wenn Fortpflanzung bzw. Vererbung auf seelischen Faktoren, auf dem Gedächtnis beruhen, dann wird ein gleiches für die Regeneration gelten. Wird ein heranwachsender oder fertiger Organismus verstümmelt, so vermag er in vielen Fällen den Schaden durch neue Wachstumsprozesse auszugleichen. Er erreicht doch wiederum die Gestalt seiner Ahnen, deren Bild dem Gedächtnis seiner lebenden Substanz als Ziel eingeprägt zu sein scheint. Auch bei der Betrachtung der Regenerationsvorgänge stößt man auf manche Einzelheiten, die an Gedächtniserscheinungen erinnern, wie sie der Psychologe feststellt.

Psychovitalismus.

So gewinnt man den Eindruck, daß die wunderbarsten und am meisten charakteristischen Fähigkeiten der lebenden Wesen, diejenigen der Zweckmäßigkeitsentwicklung, der Fortpflanzung und Vererbung, der Regeneration, im Seelischen wurzeln, in jenem Weltfaktor, der uns auf den höheren Stufen der lebenden Natur und vor allem im eigenen inneren Erleben so geheimnisvoll entgegentritt. Die großen Geheimnisse des organischen Lebens scheinen auf ein letztes zurückzuführen, auf das der Beseelung. In ihr mag schließlich das Geheimnis der lebenden Natur, das eigentliche Wesen derselben, liegen. Das hat die Menschheit vor aller Wissenschaft geahnt, indem sie Beseelung und Belebung, Entschwinden der Seele und Sterben gleichsetzte. Diese Auffassung des Lebens vertreten die ältesten griechischen Philosophen und der Vater der Naturgeschichte, Aristoteles; vielleicht wird ihr wiederum die Zukunft gehören.

Freilich, die „psychovitalistische“ Lehre ist eine Hypothese, und zwar eine solche, die vielen Einwänden ausgesetzt ist. Wir haben eine Reihe von allgemeineren Gründen, die von den biologischen Mechanisten gegen den Vitalismus ins Feld geführt werden, bereits bei unseren erkenntnistheoretischen Betrachtungen abgewehrt. Hier bleibt nur weniges nachzutragen.

Kritische Betrachtung von Einwänden gegen den Vitalismus. Metaphysischer Abschluß des Naturbildes. Wenn der Mechanist behauptet, daß alle Lebenserscheinungen rein physikochemische Phänomene darstellen und daher im Prinzip auch physikalisch oder chemisch erklärbar sein müssen, so kann er sich darauf berufen, daß in der Tat vieles, was am oder im Organismus zu beobachten ist, bereits physikalisch oder chemisch erklärt werden kann, wie z. B. die Entstehung eines Bildes auf der Netzhaut unseres Auges oder manche Verdauungsvorgänge. Der Mechanist hofft, daß die physikochemische Erklärung immer weiter vordringen werde, und er sieht in der vitalistischen Ansicht, daß solcher Erklärung nicht alle Lebenserscheinungen zugänglich seien, eine unbegründete, das Erklärungsstreben lähmende Verzagtheit.

Der Vitalist kann zu seiner Verteidigung sagen, daß auch er das Vorkommen vieler physikochemisch erklärbarer Vorgänge im Organismus nicht bezweifelt, und daß er darum die Aufstellung physikalischer und chemischer Erklärungen keineswegs grundsätzlich und überall ablehnt. Wenn indessen solche Erklärungen hier und dort einmal einen erfreulichen Erfolg aufweisen, so beweist dies nicht, daß sie für alle Lebenserscheinungen möglich sind. Trotz einiger Fortschritte

der mechanistischen, d. h. physikalischen und chemischen Erklärungsweise ist das Erklärungsbedürftige in der Biologie, das physikalischem und chemischem Verständnis — wenigstens gegenwärtig — ganz unzugänglich erscheint, nicht weniger, sondern mehr geworden. So sind z. B. neue, überraschende Regenerationsleistungen bekannt geworden, die den Versuchen mechanistischer Regenerationserklärung hartnäckig widerstreben. Insbesondere H. Driesch und G. Wolff haben solche Beobachtungen in eindrucksvoller Weise zur Bekämpfung des Mechanismus verwertet.

Wenn sich viele Biologen so entschieden dagegen sträuben, auch nur die prinzipielle Zulässigkeit der Einführung neuer, dem Physiker und Chemiker unbekannter Realitäten zuzulassen, so beruht dies in erster Linie auf dem Vorurteil, daß jene neuen Realitäten der Vitalisten Gesetzlosigkeit und Unexaktheit in das Naturbild bringen müßten. Doch ist dies keineswegs zu befürchten, wenn der Vitalismus nicht ausartet. Die von ihm eingeführten besonderen vitalen Faktoren werden sich genau so gut strengen Gesetzen fügen wie die physikalischen und chemischen Wirklichkeitsbestandteile. Wenn die besonderen vitalen Faktoren seelischer Natur sind, wie der Psychovitalismus annimmt, dann werden strenge psychologische Gesetze sie beherrschen. Man darf nicht meinen, das Seelische müsse Gesetzlosigkeit in das Lebensgeschehen hineintragen. Freilich entsteht leicht der Eindruck, daß sich manche psychische Fähigkeiten, wie z. B. die Phantasie, strengen Gesetzen entziehen; aber den gleichen Eindruck haben wir zunächst auch bei den Launen des Wetters, und doch sind wir überzeugt, daß diese durch physikalische Gesetze bis in alle Einzelheiten bestimmt werden. Wie beim Wetter, so entspringt beim Seelenleben des Menschen der Eindruck des Gesetzlosen und Nicht-exakt-Faßbaren aus der undurchsichtigen Komplikation der Verhältnisse, nicht aber aus wirklicher Gesetzlosigkeit. Einfache seelische Faktoren mögen ebenso einfachen Gesetzen gehorchen wie physikalische und chemische Realitäten.

Bringt der Vitalismus Gesetzlosigkeit und Unexaktheit ins Naturbild?

Darum ist es auch verfehlt, zu glauben, daß die Einführung besonderer, etwa seelischer vitaler Faktoren die Biologie unexakter mache. Die viel bewunderte Exaktheit der Physik und Chemie beruht auf der — relativen — Einfachheit und der Meßbarkeit der Gegenstände, die in diesen Wissenschaften untersucht werden; die Exaktheit läßt auch in Physik und Chemie vielfach zu wünschen übrig, wo kompliziertere Verhältnisse vorliegen. Sie leidet aber nicht darunter, wenn der Physiker neue Faktoren, wie die Faradayschen Ätherzustände oder die Elektronen, einführt. Durch die physikochemische Erklärbarkeit der Lebenserscheinungen würde noch keine Bürgschaft dafür geleistet, daß die Biologie den Charakter einer exakten Wissenschaft tragen kann; und sie braucht nicht weniger exakt zu werden, wenn in ihr neue, etwa seelische Faktoren durch den Vitalismus eingeführt werden; ist doch die Physik durch Einführung der Faradayschen Ätherzustände oder der Elektronen nicht unexakter geworden. Wenn die Biologie in mancher Hinsicht einen weniger exakten Eindruck macht als die Physik oder die Chemie, so wird dies durch den Mechanismus nicht besser und durch den Vitalismus nicht schlimmer; es beruht darauf, daß im

Organismus in so komplizierter, vielfach der Messung sich entziehender Weise überaus zahlreiche Faktoren zusammenspielen.

Nun fürchten die Gegner des Vitalismus gerade die Unmeßbarkeit der besonderen vitalen (evtl. seelischen) Faktoren. Indessen dürften wir in der Natur mitwirkende Faktoren nicht darum beiseite lassen oder leugnen, weil sie nicht meßbar wären. Niemand kann wissen, ob nicht unmeßbare Realitäten im Naturgeschehen tatsächlich mitspielen. Doch liegt vorläufig kein Grund zu der Annahme vor, daß die besonderen Lebensfaktoren der Vitalisten prinzipiell unmeßbar sein müßten. Sie könnten indirekt, z. B. an ihren Wirkungen, meßbar sein, wie ja auch vom Physiker neu eingeführte, unwahrnehmbare Faktoren indirekt gemessen werden; wir haben angedeutet, wie z. B. Ladung und Masse der neu eingeführten Elektronen auf indirektem Wege bestimmt werden. Wenn der Psychovitalismus die besonderen vitalen Faktoren als seelische Realitäten ansieht, so ist zu bedenken, daß die neuere Psychologie mit Erfolg versucht, das Seelische exakter und womöglich zahlenmäßiger Erforschung zu unterwerfen.

Bedeutet der Vitalismus nur eine Abschiebung der Rätsel des Lebens, keinen echten Lösungsversuch?

Wenn die Vitalisten ihren Gegnern vorwerfen, mechanistische Hypothesen seien unfähig, das Ganze der organischen Zweckmäßigkeit oder im besonderen die direkten Anpassungen, die Regenerationen, die Vererbungserscheinungen zu erklären, so pflegen die Mechanisten zu erwidern, die Zurückführung jener seltsamen Fähigkeiten und Leistungen auf besondere vitale Faktoren sei keine eigentliche Erklärung, sondern eine Abschiebung der Probleme ins Dunkle. Die „Erklärungen" der Vitalisten seien von der gleichen Art wie die Erläuterung der schlafbringenden Wirkung des Opiums durch eine vis dormitiva; man schiebe einfach die organische Zweckmäßigkeit, überhaupt alle Wunder des Lebens, zweck- oder zielstrebigen Vitalfaktoren, wundertätigen Kräften zu. Dabei verschwänden dann alle Lebensrätsel im Geheimnis jener Kräfte, leider ohne der Lösung näher gebracht zu sein.

Dagegen ist folgendes zu sagen. Die Frage ist zunächst die, ob man bei der Erklärung der Lebenserscheinungen mit den physikalischen und chemischen Faktoren auskommen kann oder nicht. Im strengen Sinne kann man weder das eine noch das andere beweisen; doch scheinen manche Lebenserscheinungen, z. B. diejenigen der Regeneration, der Vererbung usw., einer mechanistischen Erklärung zu widerstreben. Darum sehen sich die Vitalisten veranlaßt, neue, nicht physikochemische Faktoren anzunehmen. Diese sind dann natürlich zunächst unbekannt; man kann nur von ihnen sagen, daß sie jene Erscheinungen bewirken, zu deren Erklärung die physikochemischen Faktoren nicht ausreichen. Die Einführung von zunächst unbekannten Faktoren, denen man eine ohne sie unerklärliche beobachtete Wirkung zuschreibt, ist aber ein durchaus berechtigtes, auch z. B. von Physik und Chemie oft geübtes Verfahren. Wenn z. B. im Spektrum eines Sternes eine neue Spektrallinie entdeckt wird, die durch die bisher bekannten Stoffe nicht hervorgebracht sein kann, so wird ein neuer Stoff eingeführt, der dann vorläufig im übrigen unbekannt ist, ebenso wie die neu eingeführten Lebensfaktoren der Vitalisten. Jener Stoff und diese

Lebensfaktoren brauchen aber keineswegs für alle Zeiten unbekannt zu bleiben. Man wird sich bemühen, sie aus ihren Wirkungen zu erkennen, wie etwa der Physiker unwahrnehmbare Strahlen aus ihren Wirkungen zu erkennen trachtet. Als Becquerel die geheimnisvollen Wirkungen beobachtete, die vom Uran ausgehen, und nun unbekannte Strahlen einführte, um jene seltsamen Erscheinungen zu erklären, da wurde nicht der Vorwurf erhoben, eine solche Erklärung schiebe das Rätsel jener Phänomene ab in das Geheimnis der unbekannten Strahlen. Die Vitalisten aber müssen den entsprechenden Vorwurf, sie schöben die Rätsel des Lebens ab in das Geheimnis unbekannter Lebensfaktoren, immer wieder hören. Ebenso wie die zunächst unbekannten Uranstrahlen alsbald genauer erforscht wurden, können auch die besonderen vitalen Faktoren genauer untersucht werden. Sie brauchen nicht ewig unbekannt zu bleiben. Die Biologie der Zukunft mag herausfinden, wie sie die wunderbaren Leistungen der lebenden Natur hervorbringen.

Der Psychovitalismus aber bedeutet einen beachtenswerten Versuch in dieser Richtung. Er ist bestrebt, die besonderen vitalen Faktoren als einfache, wohlbekannte seelische Fähigkeiten, wie Gedächtnis usw., zu begreifen. Er erklärt kausal, wie Zweckmäßiges durch derartige seelische Faktoren hervorgebracht werden kann, wobei er von der beobachtbaren Entstehung zweckmäßiger Handlungen durch Probieren und Behalten ausgeht. Diese Erklärung mag angesichts bestimmter Anpassungen richtig sein oder auch falsch; sie bedeutet jedenfalls keine Abschiebung des Zweckmäßigkeitsproblems.

Ausgehend von dem eben geprüften Vorwurf pflegen viele Mechanisten die besonderen vitalen Faktoren als mystisch abzulehnen. Wenn es indessen gelänge, dieselben genauer zu erkennen, ihr Auftreten und die Art ihres Wirkens gesetzmäßig festzulegen, dann läge kein Grund vor, sie als mystisch zu bezeichnen. Sie sind wohl kaum „mystischer“ und unfaßbarer als der hypothetische Weltäther, jenes seltsame, alles durchdringende, ewig ruhende Etwas, durch welches die Gestirne ihre Bahnen ziehen, ohne Widerstand zu finden. Auch der Äther, die Elektronen, der Magnetismus erscheinen dem forschenden Geiste zunächst unfaßbar und fast mystisch; wenn er aber lernt, sie Gesetzen unterzuordnen, sie durch Bekanntes zu bestimmen, so verliert sich dieser Eindruck. Das gleiche würde bei besonderen vitalen Faktoren der Fall sein. Wenn diese aber als seelische aufgefaßt werden dürfen, wie es der Psychovitalismus will, so sind sie uns vielleicht vertrauter und begreiflicher als der Äther und dergleichen; denn Seelisches, z. B. Gedächtniserscheinungen, kennen wir aus unserem eigenen Innern, aus unmittelbarer Erfahrung. Wenn dem Naturforscher aber das Seelische leicht als mystisch, als schlechthin unfaßbar erscheint, während ihm die rein körperliche, physikochemische Welt vertraut und begreiflich dünkt, so kommt dies daher, daß er dem ersteren weniger, der letzteren aber sehr viel Aufmerksamkeit und Arbeit zuwendet.

Vereinbarkeit des Vitalismus mit dem Energieerhaltungsprinzip.

Ernster als diese Bedenken gegen den Vitalismus erscheint zunächst der Vorwurf, er müsse dem Energieerhaltungssatze widersprechen. Man meint, wenn besondere vitale Faktoren in das physikochemische Geschehen im Organis-

mus hineinwirkten, so müßten sie Arbeit leisten und den Energievorrat des lebenden Körpers verändern. So müßte das Energieerhaltungsprinzip durchbrochen werden. Davon ist aber bei sorgfältiger experimenteller Beobachtung nichts zu bemerken; vielmehr haben die Untersuchungen von Rubner, Laulanie und Atwater die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes für den tierischen und menschlichen Organismus bestätigt.

Doch dies bedeutet keine Widerlegung des Vitalismus, weil er in verschiedener Weise mit dem Erhaltungsprinzip und den erwähnten Versuchsergebnissen vereint werden kann. Man kann z. B. annehmen, daß es eine besondere vitale Energie gebe, die auf den besonderen vitalen Kräften in ähnlicher Weise beruhe wie elektrische Energie auf elektrischen Kräften. Auch könnten die vitalen, nach psychovitalistischer Ansicht seelischen Faktoren auf das physikochemische Geschehen im Organismus leitend einwirken, ohne Arbeit zu leisten, ohne an seinen Energievorräten etwas zu ändern. Nicht jede Einwirkung auf ein körperliches Gebilde ändert dessen Energievorrat. Wenn ich ein Gewicht an einem Faden aufhänge und dann so in Bewegung versetze, daß es einen horizontalen Kreis (und der Faden einen Kegelmantel) beschreibt, so wird es von der Schwerkraft fortwährend beeinflußt. Diese leitet das Gewicht in die Kreisbahn, ändert dabei aber weder die Bewegungs- noch die Lageenergie desselben; denn es behält stets dieselbe Geschwindigkeit und Höhenlage (wenn wir von der Störung durch den Luftwiderstand und durch andere Faktoren absehen). So könnten auch vitale, etwa seelische Kräfte die Vorgänge im Organismus leiten, ohne seinen Energievorrat zu ändern.

Vitalismus und Entropieprinzip.

Auf dieser Leitung könnten die Zweckmäßigkeit und das geordnete Zusammenspiel der Vorgänge im Organismus beruhen. Indem die vitalen Faktoren ordnend wirken, könnten sie der Tendenz zur Unordnung entgegenarbeiten, welche die tote Natur beherrscht. Diese Tendenz zur Unordnung offenbart sich in der „Vorliebe“ der Natur (M. Planck) für ausgeglichene Wärme; sie findet einen Ausdruck im Entropieprinzip. Wir stoßen hier auf die (von F. Auerbach in seiner Ektropismuslehre entwickelte) Vermutung, daß das Geschehen im Organismus dem Entropieprinzip widerspricht. Man könnte dem eine Bedeutung für den Ablauf des ganzen Weltgeschehens beilegen; man könnte sich vorstellen, daß das Leben mit seinen ordnenden Kräften die Natur vor dem Wärmetode bewahrt. Doch wollen wir hierauf nicht weiter eingehen, da es sich nur um Möglichkeiten handelt.

Unterschied zwischen den seelischen Vitalfaktoren und den Realitäten der toten Natur.

Fragen wir endlich, was die vitalen, wohl als seelisch oder seelenartig zu betrachtenden Faktoren von den physikochemischen unterscheidet. Jene können Wirkungen ausüben wie diese und stellen sich uns also als Kräfte dar. Die seelischen oder seelenartigen Vitalkräfte wirken im Raume, haben ihre Angriffspunkte in körperlichen Gebilden, den lebendigen Leibern. Aber sie sind nicht, wie die Realitäten der toten Natur, selbst körperliche, d. h. raumerfüllende Dinge. Die Versuche materialistischer Metaphysik, auch das Seelische als körperlich aufzufassen, sind immer gescheitert. Der Unterschied zwischen den physikochemischen und den seelisch-vitalen Kräften dürfte also wohl zunächst

in ihren verschiedenen Beziehungen zum Raume liegen. Die schwierige Aufgabe einer genaueren Bestimmung des Verhältnisses seelischer Realitäten zum Raume mag der Metaphysik der Seele, bzw. der allgemeinen Metaphysik vorbehalten bleiben. Diesen Disziplinen wollen wir auch die Fragen nach dem Woher und Wohin der seelischen Lebensfaktoren zur Beantwortung oder doch zur Erwägung überlassen; für eine wissenschaftliche Lösung solcher Probleme fehlt es leider gar zu sehr an Stützpunkten in unserer Erfahrung, auch wenn wir neben den Naturwissenschaften die Psychologie und die übrigen Geisteswissenschaften berücksichtigen. Schließlich bleibt zu bedenken, daß schon der Vitalismus und der Psychovitalismus bloße Hypothesen darstellen, Möglichkeiten, denen die wissenschaftlich trotz mancher Schwierigkeiten ebenfalls noch mögliche mechanistische Hypothese gegenübersteht. Um so mehr wird alles Weitere, was eine Weltanschauung auf den Psychovitalismus aufbauen mag, wissenschaftlich betrachtet bestenfalls eine Möglichkeit bedeuten.

Abschluß des Gesamtbildes der Natur in einer monistisch-idealistischen Weltanschauung.

Eine solche sehen wir auch in dem metaphysischen Versuch, das An-Sich-Seiende, welches der Körperwelt, der physikochemischen Welt, zugrunde liegt, gleichfalls als seelisch zu betrachten. Sowohl die physikochemischen wie die vitalen Weltfaktoren stellen Kräfte dar; sie wirken im Organismus zusammen. Wenn nun die vitalen Kräfte seelischer Natur sind, dann liegt die Vermutung nahe, daß ein Gleiches auch von den physikalischen und chemischen Kräften gilt. Die ganze Welt bestände demnach aus seelischen Realitäten; eine besondere Gruppe derselben, die der Vitalkräfte, wirkte leitend auf die übrigen, auf die physikochemischen Kräfte ein innerhalb seelischer Verbände, die uns als Organismen in der Erfahrung entgegenträten.

Man fühlt sich versucht, solche Ansätze zu einer monistisch-idealistischen Weltanschauung auszugestalten. Monistisch dürfte sie heißen, weil sie im letzten Grunde nur einerlei Realität kennen würde, idealistisch zunächst deshalb, weil sie diese eine Realität als seelisch-geistig betrachten würde.

Noch in einem anderen Sinne könnte dies Weltbild einen idealistischen Charakter erhalten: man könnte ihm einen ethisch-religiösen Abschluß zu geben versuchen, etwa in ähnlicher Weise, wie Fechner und Lotze ihre Weltbilder durch ethisch-religiöse Ideen gekrönt haben. Doch würden wir damit die dem vorliegenden Werke gezogenen Grenzen überschreiten.[1])

---

[1]) Vgl. zu diesem Kapitel: Zellen- und Gewebelehre, Morphologie und Entwicklungsgeschichte, 2 Teile, hrsg. v. E. Strasburger u. O. Hertwig, Kult. d. Gegenw. III, IV, 2, Leipzig u. Berlin 1913, Abstammungslehre, Systematik, Paläontologie, Biogeographie, hrsg. v. R. v. Hertwig u. R. v. Wettstein, Kult. d. Gegenw. III, IV, 4, Leipzig u. Berlin 1913, sowie: Allgemeine Biologie, hrsg. v. C. Chun u. W. L. Johannsen, Kult. d. Gegenw. III, IV, 1, Leipzig u. Berlin 1914. In diesem Bande behandelt zur Straßen das Teleologieproblem vom mechanistischen Standpunkte unter Ablehnung des Psychovitalismus, der freilich nur in der leicht angreifbaren von Pauly vertretenen Form, nicht in der hier dargelegten Gestalt ins Auge gefaßt wird.

LITERATURVERZEICHNIS.

Zu den Darlegungen über die Aufgabe der Naturphilosophie und über Naturerkenntnistheorie kommt eine ausgedehnte Literatur in Frage. Die hier zusammengestellte Auswahl enthält Werke, welche die verschiedenen im Text behandelten Richtungen vertreten. Die für ein Gesamtbild der Natur bedeutsame Literatur ist unübersehbar. Zur Ergänzung des Angeführten mag man die Literaturverzeichnisse der naturwissenschaftlichen (wie auch die der philosophischen) Bände der „Kultur der Gegenwart" heranziehen; die bereits erschienenen Bände sind im folgenden, soweit sie für die vorliegende Materie von Interesse sind, genannt und mit zwei Sternchen ** bezeichnet. Einige andere verhältnismäßig leicht lesbare Schriften sind durch ein Sternchen * gekennzeichnet. In vereinzelten Fällen sind aus historischen Gründen Erstausgaben angeführt.

**ABSTAMMUNGSLEHRE, SYSTEMATIK, PALÄONTOLOGIE, BIOGEOGRAPHIE, red. v. R. v. Hertwig u. R. v. Wettstein, Kult. d. Gegenw. III, IV, 4. Leipzig u. Berlin 1913.

*ADICKES, E., Kant contra Haeckel. Für den Entwicklungsgedanken — gegen naturwissenschaftlichen Dogmatismus². Berlin 1906.

**ALLGEMEINE BIOLOGIE, red. v. C. Chun u. W. L. Johannsen unter Mitwirkung von A. Günthardt, Kult. d. Gegenw. III, IV, 1. Leipzig u. Berlin 1914.

**ALLGEMEINE GESCHICHTE DER PHILOSOPHIE², Kult. d. Gegenw. I, V. Leipzig u. Berlin 1913.

*ASTRONOMIE, red. v. J. Hartmann, Kult. d. Gegenw. III, III, 3. Leipzig u. Berlin, i. E.

AVENARIUS, R., Philosophie als Denken der Welt gemäß dem Prinzip des kleinsten Kraftmaßes. Leipzig 1876.

BAUCH, B., Studien zur Philosophie der exakten Wissenschaften. Heidelberg 1911.

*BECHER, E., Philosophische Voraussetzungen der exakten Naturwissenschaften. Leipzig 1907.

BECHER, E., Theoretische Beiträge zum Darwinismus. Arch. f. Rass.- u. Gesellsch.-Biol. 7. 1910.

*BECHER, E., Gehirn und Seele. Heidelberg 1911.

*BECHER, E., Leben und Beseelung. Verh. deutsch. Naturf. u. Ärzte zu Münster. Leipzig 1912.

*BECHER, E., Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung. Berlin, i. E.

BECHER, S., Erkenntnistheoretische Untersuchungen zu St. Mill's Theorie der Kausalität. Halle 1906.

*BECHER, S., Seele, Handlung und Zweckmäßigkeit im Reich der Organismen. Ann. d. Naturphilos. 10. 1911.

*BERKELEY, G., Abhandlung über die Prinzipien der menschlichen Erkenntnis. Deutsch von Überweg⁴. Leipzig 1906.

BÜTSCHLI, O., Mechanismus und Vitalismus. Leipzig 1901

**CHEMIE, red. v. E. von Meyer. Allgemeine Kristallographie u. Mineralogie, red. v. Fr. Rinne, Kult. d. Gegenw. III, III, 2. Leipzig u. Berlin 1913.

CLASSEN, J., Vorlesungen über moderne Naturphilosophen. Hamburg 1908.

COHEN, H., Kants Theorie der Erfahrung². Berlin 1885.

COHN, J., Voraussetzungen und Ziele des Erkennens. Leipzig 1908.

*CORNELIUS, H., Einleitung in die Philosophie². Leipzig u. Berlin 1911.

COSSMANN, P. N., Elemente der empirischen Teleologie. Stuttgart 1899.

DANNEMANN, F., Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange. Leipzig 1910—1913.

DARWIN, CH., Die Entstehung der Arten. Deutsch von J. V. Carus. Stuttgart. Viele Auflagen. Auch bei Reclam.
DESCARTES, R., Meditationen über die Grundlagen der Philosophie. Deutsch v. Buchenau[3]. Leipzig 1904.
DINGLER, H., Die Grundlagen der Naturphilosophie. Leipzig 1914.
DRIESCH, H., Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre. Leipzig 1905.
DRIESCH, H., Philosophie des Organischen. 2 Bde. Leipzig 1909.
*EHRENFEST, P., Zur Krise der Lichtäther-Hypothese. Rede. Berlin 1913.
EHRHARDT, F., Mechanismus und Teleologie. Leipzig 1890.
EHRHARDT, F., Tatsachen, Gesetze, Ursachen. Rekt.-Rede. Rostock 1912.
EINSTEIN, A., Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung. Physik. Zeitschr. 10. 1909.
EISLER, R., Einführung in die Erkenntnistheorie. Leipzig 1907.
*ELSENHANS, TH., Die Voraussetzungen der voraussetzungslosen Wissenschaft. Rede. Leipzig 1909.
*ERDMANN, B., Über Inhalt und Geltung des Kausalgesetzes. Halle 1905.
ERDMANN, B., Logik, I. Bd. Logische Elementarlehre[2]. Halle 1907.
*FECHNER, G. TH., Die Tagesansicht gegenüber der Nachtansicht[2]. Leipzig 1904.
FREYTAG, W., Die Erkenntnis der Außenwelt. Halle 1904.
FRISCHEISEN-KÖHLER, M., Wissenschaft und Wirklichkeit. Leipzig und Berlin 1912.
GEYSER, J., Naturerkenntnis und Kausalgesetz. Münster 1906.
GEYSER, J., Grundlagen der Logik und Erkenntnislehre. Münster 1909.
*GRUNER, P., Die Wandlungen in den Anschauungen über das Wesen der Elektrizität. Hamburg 1908.
*HABERLANDT, G., Über Reizbarkeit und Sinnesleben der Pflanzen. Vortrag. Wien 1908.
HAECKEL, E., Natürliche Schöpfungsgeschichte[11]. Berlin 1909.
HARTMANN, E. V., Das Problem des Lebens. Biologische Studien. Bad Sachsa 1906.
HARTMANN, E. V., Die Weltanschauung der modernen Physik[2]. Bad Sachsa 1909.
*HELMHOLTZ, H. V., Vorträge und Reden[5]. 2 Bde. Braunschweig 1903.
*HERBERTZ, R., Die philosophische Literatur. Ein Studienführer. Stuttgart 1912.
*HERING, E., Über das Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organischen Materie. Vortrag. Wien 1870.
HERTZ, H., Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt. Leipzig 1894.
HEYMANS, G., Die Gesetze und Elemente des wissenschaftlichen Denkens[2]. Leipzig 1905.
HÖFLER, A., Zur gegenwärtigen Naturphilosophie. Berlin 1904.
*HUME, D., Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand. Deutsch von Richter[7]. Leipzig 1911.
HUSSERL, B., Logische Untersuchungen. 1. u. 2. Halle 1900, 1901.
KANT, J., Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können.
KLEINPETER, H., Die Erkenntnistheorie der Naturforschung der Gegenwart. Leipzig 1905.
KOPPELMANN, W., Untersuchungen zur Logik der Gegenwart, 1. Teil. Lehre vom Denken und Erkennen. Berlin 1913.
*KÜLPE, O., Erkenntnistheorie und Naturwissenschaft. Leipzig 1910.
KÜLPE, O., Die Realisierung. 1. Bd. Leipzig 1912.
*KÜLPE, O., Einleitung in die Philosophie[6]. Leipzig 1913.
LAMARCK, J., Zoologische Philosophie. Deutsch von A. Lang. Jena 1876.
*LANGE, F. A., Geschichte des Materialismus. 2 Bde. Viele neuere Aufl., z.B. bei Reclam.
LEHMANN, O., Die Beweise für die Existenz von Molekülen und die Sichtbarmachung der Molekularstruktur von Kristallen durch Röntgenstrahlen. Karlsruhe 1913.
LEIBNIZ, G. W., Nouveaux essais sur l'entendement humain. Deutsch von Schaarschmidt[2]. Leipzig 1904.

LESER, H., Einführung in die Grundprobleme der Erkenntnistheorie. Leipzig 1911.
*LIEBMANN, O., Zur Analysis der Wirklichkeit[4]. Straßburg 1911.
*LOCKE, J., Über den menschlichen Verstand. Deutsch von Th. Schultze. Leipzig, Reclam.
LOEB, J., Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen. Leipzig 1906.
LOTZE, H., Metaphysik. Leipzig 1879, [3] 1901.
MACH, E., Die Prinzipien der Wärmelehre[2]. Leipzig 1900.
MACH, E., Die Mechanik in ihrer Entwicklung[6]. Leipzig 1908.
*MACH, E., Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen. Physik. Zeitschr. 1910.
MACH, E., Die Analyse der Empfindungen[6]. Jena 1911.
MAY, W., Die Ansichten über die Entstehung der Lebewesen[2]. Leipzig 1909.
*MESSER, A., Einführung in die Erkenntnistheorie. Leipzig 1909.
*MIE, G., Moleküle — Atome — Weltäther[3]. Leipzig 1911.
MILL, J. ST., System der deduktiven und induktiven Logik. Deutsch von Gomperz. Leipzig 1872.
MILL, J. ST., Eine Prüfung der Philosophie Sir. W. Hamiltons. Deutsch v. Wilmanns, mit Vorwort von B. Erdmann. Halle 1908.
MÜLLER, A., Das Problem des absoluten Raumes und seine Beziehung zum allgemeinen Raumproblem. Braunschweig 1911.
NATORP, P., Kant und die Marburger Schule. Berlin 1912.
NELSON, L., Über das sogenannte Erkenntnisproblem. Abh. d. Fries'schen Schule. Neue Folge. II, 4. 1908.
OSTWALD, W., Vorlesungen über Naturphilosophie[3]. Leipzig 1905.
PERRIN, J., Die Atome. Deutsch von A. Lottermoser. Dresden 1914.
PETZOLDT, J., Das Weltproblem vom positivistischen Standpunkte aus[2]. Leipzig und Berlin 1911.
**PHYSIK, red. v. E. Warburg. Kult. d. Gegenw. III, III, 1. Leipzig und Berlin 1914.
PLANCK, M., Die Einheit des physikalischen Weltbildes. Leipzig 1909.
PLANCK, M., Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Weltanschauung Leipzig 1910.
PLATE, L., Selektionsprinzip und Probleme der Artbildung[4]. Leipzig 1913.
POINCARÉ, H., Wissenschaft und Hypothese. Deutsche Ausgabe von F. und L. Lindemann[2]. Leipzig 1906.
POINCARÉ, H., Letzte Gedanken. Deutsch von K. Lichtenecker. Leipzig 1913.
PRINGSHEIM, E. G., Die Reizbewegungen der Pflanzen. Berlin 1912.
RADL, E., Geschichte der biologischen Theorien seit dem Ende des 17. Jahrhunderts. 2 Bde. Leipzig 1905, 1909, 1. Bd.[2] 1913.
REHMKE, J., Unsere Gewißheit von der Außenwelt. Heilbronn 1894.
REINKE, J., Einleitung in die theoretische Biologie. Berlin 1901.
*REINKE, J., Die Welt als Tat[2]. Berlin 1901.
RICKERT, H., Kulturwissenschaft und Naturwissenschaft[2]. Tübingen 1910.
RIEHL, A., Der philosophische Kritizismus. 2 Bde. Leipzig 1876—82. I. Bd.[2] Leipzig 1908.
*RIGHI, A., Die moderne Theorie der physikalischen Erscheinungen. Deutsch von B. Dessau. Leipzig 1908.
RITZ, W., Gesammelte Werke. Paris 1911.
*RUBENS, H., Die Entwickelung der Atomistik. Rede. Berlin 1913.
RUTHERFORD, E., Die Radioaktivität. Deutsch von E. Aschkinass. Berlin 1907.
SCHOPENHAUER, A., Die Welt als Wille und Vorstellung. Z. B. bei Reclam, Leipzig o. J.
SCHUBERT-SOLDERN, R. v., Grundlagen einer Erkenntnistheorie. Leipzig 1882.
SEMON, R., Die Mneme[3]. Leipzig 1911.
SIEGEL, K., Geschichte der deutschen Naturphilosophie. Leipzig 1913.

Stöhr, A., Der Begriff des Lebens. Heidelberg 1909.

Störring, G., Einführung in die Erkenntnistheorie. Leipzig 1909.

Study, E., Die realistische Weltansicht und die Lehre vom Raume. Braunschweig 1914.

Stumpf, C., Psychologie und Erkenntnistheorie. Abh. d. Bayr. Akad. d. Wiss. München 1891.

Stumpf, C., Erscheinungen und psychische Funktionen. Abh. d. Preuß. Akad. d. Wiss. v. J. 1906. Berlin 1907.

Stumpf, C., Zur Einteilung der Wissenschaften. Abh. d. Preuß. Akad. d. Wiss. v. Jahre 1906. Berlin 1907.

**Systematische Philosophie[2], Kult. d. Gegenw. I, VI. Leipzig und Berlin 1908.

*Thomson, W., Populäre Vorträge und Reden[2]. Berlin 1891.

Vaihinger, H., Die Philosophie des Als Ob. System der theoretischen, praktischen und religiösen Fiktionen der Menschheit[2]. Berlin 1913.

Volkelt, J., Die Quellen der menschlichen Gewißheit. München 1906.

Vries, H. de, Die Mutationstheorie. 2 Bde. Leipzig 1901, 1903,

Weinstein, B., Die Grundgesetze der Natur und die modernen Naturlehren. Leipzig 1911.

Weismann, A., Vorträge über Deszendenztheorie[3]. 2 Bde. Jena 1913.

Werner, A., Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie[3]. Braunschweig 1913.

*Windelband, W., Präludien[4]. Freiburg 1911. Bd. 2 enthält die Rektoratsrede: Geschichte und Naturwissenschaft.

Wolff, G., Mechanismus und Vitalismus[2]. Leipzig 1905.

*Wundt, W., Einleitung in die Philosophie[5]. Leipzig 1909.

Wundt, W., Grundzüge der physiologischen Psychologie[6]. 3 Bde. Leipzig 1908—1911.

**Zellen- und Gewebelehre, Morphologie und Entwicklungsgeschichte, 2 Teile, red. v. E. Strasburger u. O. Hertwig. Kult. d. Gegenw. III, IV, 2. Leipzig u. Berlin 1913.

NAMENREGISTER.

A.

Abbe 208.
Abel 42.
Abraham 260, 275, 278, 318, 320, 330.
Adickes 420.
Albertus Magnus 6.
Ampère 16, 278, 301.
Anaxagoras 4.
Anaximander 3.
Anaximenes 3.
Arago 289, 303.
Aristoteles 4—7, 29, 37, 133, 335, 414.
Arrhenius 389—391.
Aschkinass 422.
Atwater 418.
Auerbach 418.
Augustin 5.
Avenarius 420.
Avogadro 242—244.

B.

Roger Baco 6, 9.
F. Bacon 37.
Barkla 294.
Baßler 294.
Bauch 420.
E. Becher 282, 330, 360, 420.
S. Becher 420.
Becquerel 264, 417.
Beer 13.
Begemann 250.
Le Bel 245.
Beltrami 180.
Bentham 16.
Berkeley 14f., 37, 167, 420.
D. Bernoulli 225.
Berzelius 248, 261.
Bessel 277.
Bethe 13.
Black 342, 346.
Bodaszewski 224.
Boltwood 230.
Boltzmann 11, 225, 322.
Bolyai 180.
Boscovich 281.
Boyle 9, 64, 67, 242.
Bradley 315.
Brown 224—226, 229f., 344.
Giordano Bruno 6.
Buchenau 420.
Bucherer 260.
Butler 373.
Bütschli 420.

C.

Cardanus 6.
Carlyle 18.
Carnot 361.
J. V. Carus 420.
v. Chauvin 395.
C. Chun 419f.
Classen 420.
Clausius 225, 361.
Cohen 420.
J. Cohn 420.
Comte 23f., 159, 167.
Cornelius 32, 420.
Cossmann 420.
Curie 252, 264.

D.

Dalton 233, 236, 240—242, 249.
Dannemann 420.
Darwin 3, 4, 10, 379, 391, 394, 396f., 399f., 402f., 410, 411—414, 420.
Demokrit 4, 29, 208, 233, 236, 334.
Descartes 7, 37, 67f., 72, 82, 110, 126, 133, 193, 284, 334f., 356, 420.
Dessau 422.
Dingler 421.
Doebereiner 262.
Driesch 38, 200, 415, 421.
Drude 320, 342.
Dulong 322.

E.

Ehrenfest 421.
Ehrenhaft 209, 281.
Ehrhardt 421.

Eimer 397.
Einstein 278, 318f., 322f., 330, 421.
Eisler 421.
Elsenhans 421.
Empedokles 4, 130, 277.
Eötvös 277.
Epikur 5.
B. Erdmann 44f., 77, 80, 134, 421f.
Euklid 107, 180—182.

F.

Faraday 248, 263, 295f., 298f., 301, 304 bis 309, 316, 318—320, 328, 330, 335, 337, 3587f., 415.
Fechner 10, 177, 281, 353, 388, 419, 421.
J. G. Fichte 32, 37.
Fischer 394.
Fitzgerald 317.
Fizeau 314f., 318.
Fleischmann 391.
Foucault 286f., 324.
Frank 94.
Fresnel 288f., 293, 303, 315.
Freytag 421.
Friedenthal 385.
Friedrich 219.
Fries 129.
Frischeisen-Köhler 421.
Fröschel 373.

G.

Galilei 7, 67.
Galton 397.
Gauß 180.
Gay-Lussac 242.
Geiger 230, 251.
Geyser 421.
Giglio-Tos 366.
Goldstein 253.
Gomperz 422.
Gouy 225.
Gruner 421.

H.

Haber 257.
Haberlandt 421.
Haeckel 362, 375, 378, 384, 387, 397, 420f.
Haecker 366.
Hall 257.
Halley 279.
W. Hamilton 133, 422.
Harms 17.
v. Hartmann 10, 421.
J. Hartmann 282, 420.
Harvey 386.
Hasenöhrl 322.
Hatschek 397.
Hegel 9, 11, 38, 49, 75.
v. Helmholtz 38, 177, 180, 208, 213, 248, 306, 335, 375, 389, 421.
Henning 231.
Henrich 328.
Heraklit 3, 126.
Herbertz 421.
Hering 373, 421.
O. Hertwig 419, 423.
R. v. Hertwig 397, 419, 420.
Hertz 295, 299, 301, 304, 306, 316, 323, 328, 345, 358, 421.
Heymans 133, 421.
St. Hilaire 393—395, 397.
van 't Hoff 245.
Höfler 421.
Holborn 231.
Hull 322.
Hume 37, 56, 111—113, 133, 141, 146, 152, 201, 421.
Husserl 421.
Huxley 385,
Huyghens 184, 284, 286—289, 302f.

I. J.

Isenkrahe 277.
Jean 323.
Jennings 373, 407.
Joffé 251.
Johannes Eriugena 6.
Johannsen 419f.
Jordan 410.
Joule 159f.

K.

Kammerer 395.
Kant 7f., 15, 37f., 58f., 70f., 80, 97—100, 115, 133, 141, 149, 170, 173, 201f., 281, 420—422.
Kassowitz 364, 366, 397.
H. Kauffmann 366.
W. Kaufmann 258, 260.
Kepler 19, 112, 122.
Kirchhoff 322.
Kleinpeter 421.
Knipping 219.
Kölliker 391f.
Kopernikus 6.
Koppelmann 421.
Krönig 225.
Külpe 28, 421.
Kurlbaum 322.
Küttner 385.

L.

Laas 15.
Lamarck 3, 379, 394f., 397, 401ff., 419f., 421.
Lang 397, 421.
F. A. Lange 391, 421.
Laplace 334.

Laue 219, 294.
Laulanie 418.
Lavoisier 361.
Lebedew 322.
Legendre 180.
O. Lehmann 225, 421.
Leibniz 7, 23, 37, 82, 110, 178, 192, 281 f., 353, 421.
Lenard 273.
Lesage 277, 356.
Leser 422.
Leukipp 4, 208, 233, 236.
Lichtenecker 422.
O. Liebmann 68, 422.
Lindemann 422.
v. Linden 377.
Linné 376, 379.
Th. Lipps 80.
Lobatschewsky 180.
Locke 37, 64, 67, 125, 177, 422.
Lodge 268.
Loeb 422.
H. A. Lorentz 260, 263, 275, 306f., 315, 317f., 337.
Loschmidt 217, 229—231, 237, 242, 324.
Lotsy 397.
Lottermoser 422.
Lotze 10, 419, 422.
Lucretius Carus 5.
Lummer 322.

M.

Mach 38, 154, 159, 209, 422.
Malus 289.
Mariotte 242.
Marx 294.
Maxwell 171, 225, 295f., 298f., 301, 304 bis 309, 316, 318—320, 322, 328, 330, 335, 337f., 358.
May 422.
A. M. Mayer 273f.
Megusar 395.
Mendel 403.
Mendelejeff 262.
Messer 422.
E. v. Meyer 282, 360, 420.
L. Meyer 262.
Michelson 298, 315—318, 321, 324f., 328.
Mie 276, 278, 422.
St. Mill 15f., 112f., 201, 420, 422.
Millikan 250f.
Morley 298, 315—318, 321, 324f., 328.
A. Müller 320, 422.
F. Müller 384.

N.

Nagaoka 274.
Nägeli 392, 401.
Natorp 422.
Nelson 50, 422.
Nernst 237.
F. Neumann 288, 293.
Newlands 262.
Newton 7, 9, 19, 90, 117f., 153, 216, 276f., 284—286, 305, 324, 334, 356.
Nichols 322.
Nicol 289.
Nordström 278.

O.

Oberbeck 215.
Oersted 300.
Ostwald 11, 38, 167, 209, 422.

P.

Paracelsus 6.
Pasteur 386.
Paul 17, 20.
Pauly 397, 410, 419.
Pawlow 408.
Perikles 23.
Perrin 252, 422.
Petit 322.
Petzold 422.
Planck 322—324, 418, 422.
Plate 397, 422.
Plato 4, 37.
Plotin 23.
Poincaré 422.
Porter 273.
Preyer 388.
Pringsheim 322, 422.
Protagoras 75.
Prout 261, 273.

R.

Radl 422.
Raschig 241.
Rayleigh 215, 323.
Regener 230, 251.
Rehmke 422.
Reinhold 38.
Reinke 422.
Richarz 278, 328.
Richter 389.
Rickert 16f., 20, 422.
Riehl 422.
Riemann 180.
Righi 422.
Rinne 282, 420.
Ritz 318f., 330, 422.
Röntgen 215, 218f., 255—257, 264, 294f., 323.
Rowland 263, 300.
Rubens 422.
Rubner 418.
Rutherford 230, 251, 265, 271f., 422.

S.

Sagnac 316.
Schaarschmidt 421.
Schelling 8f.
Schopenhauer 10, 73, 97—99, 131, 149, 165, 352, 422.
Schröder 394f.
v. Schubert-Soldern 422.
Th. Schultze 422.
Schweigger 300.
Semon 373, 395, 397, 413, 423.
Seneca 5.
Siedentopf 208.
Siegel 423.
de Sitter 330.
Soddy 265.
Sokrates 4, 37.
Sommerfeld 323.
Spencer 401.
Spengel 397.
Spinoza 12, 123, 126, 137.
Standfuß 394.
Stark 253, 263, 272, 295, 304, 322f.
Starke 260.
Stas 261.
Stefan 322.
Steinmann 382.
Stöhr 423.
Stokes 316.
Stoney 249, 257.
Störring 423.
Strasburger 419, 423.
zur Strassen 13, 419.
Strato 5.
D. Fr. Strauß 10.
Study 423.
Stumpf 19, 76, 78, 423.

T.

Talbot 373.
Tertullian 5.
Thales von Milet 3.
Theophrast 5.
J. J. Thomson 250, 253, 256, 260, 267, 272, 274.
W. Thomson 215f., 277, 389, 423.
Thukydides 23.
Töpler 341.
Tyndall 218.

U.

Überweg 420.
v. Uexküll 13.

V.

Vaihinger 423.
Verworn 38.
Volkelt 423.
de Vries 391, 402f., 423.

W.

van der Waals 223, 231, 242.
Wallace 397.
Warburg 231, 282, 360, 422.
W. Weber 248, 334, 373.
Weinstein 329, 423.
Weismann 395, 397, 423.
Werner 245, 423.
v. Wettstein 397, 419, 420.
Wiechert 253, 278.
Wiechowski 385.
Wien 253f., 322.
Wilmanns 422.
Wilson 220, 250—252.
Windelband 16—20, 106, 423.
Wöhler 10, 364.
G. Wolff 397, 400, 415, 423.
Wundt 53, 423.

X.

Xenokrates 4.

Z.

Zeemann 263f., 268—270, 295, 304, 307, 344, 350.
Zsigmondy 208.

CB5 .K96 3:7 v.1
Naturphilosophie;
Princeton Theological Seminary-Speer Library
1 1012 00083 4251